

3. PELIGROS QUÍMICO-TECNOLÓGICOS

Los peligros químicos o químico-tecnológicos están asociados al uso y manejo de sustancias que poseen cierta capacidad de dañar (peligrosidad). En la normatividad mexicana, las sustancias son consideradas peligrosas por el tipo y nivel de afectación que pueden tener en la salud humana, en el ambiente y en los recursos naturales, debido a las propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables (CRETI)¹ que poseen y a la cantidad con que éstas son utilizadas. Cenapred (2004a) las describe de la siguiente manera:

Sustancias corrosivas: Sustancias y preparados que en contacto con tejidos vivos pueden ejercer una acción destructiva de los mismos.

Sustancias reactivas: Sustancias y preparados que en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen una reacción fuertemente exotérmica.

Sustancias explosivas: Sustancias y preparados sólidos, líquidos pastosos o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, pueden reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explosionan.

Sustancias tóxicas: Sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad pueden provocar efectos agudos o crónicos, incluso la muerte.

Sustancias inflamables: Sustancias y preparados (plaguicidas y residuos peligrosos) que pueden calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía o sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que continúan quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente, o líquidos cuyo punto de ignición es muy bajo o que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprenden gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.

Si bien las sustancias químicas se encuentran disponibles en todo el planeta, e incluso las personas se exponen cotidianamente a ellas (tanto en el hogar como en el trabajo), por la cantidad con que son utilizadas, representan un riesgo sólo para quien las utiliza directamente y no para la comunidad en general. En cambio, existen actividades económicas como la industrial y comercial en donde se manejan o almacenan grandes cantidades de sustancias peligrosas cuya posible liberación demarca radios de afectación que van más allá de la instalación y amenaza a la población, infraestructura, equipamiento y demás actividades productivas asentadas en las zonas contiguas, razón por la cual, estas instalaciones resultan prioritarias en materia de prevención de desastres y protección civil.

Los peligros químicos entran en contacto con los receptores o afectados potenciales (p.ej. población, actividades productivas, recursos naturales) cuando son liberados al ambiente a partir de eventos o accidentes que ocurren durante el uso y manejo de las sustancias

¹ En la Ley General del equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Cap. I. Art. 3, Fracción XXIII) se define al material peligroso como elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.

peligrosas. De acuerdo con el tipo de sustancia involucrada, en un incidente pueden desatarse los siguientes fenómenos destructivos²: fuga de gases tóxicos, explosión de mezclas inflamables o estallido de recipientes, incendios, derrame de sustancias contaminantes, radiaciones, entre otras.

Los eventos pueden ser detonados de múltiples formas, entre las más importantes, Cenapred (2004a) señala las siguientes: fenómenos naturales, fallas operativas en los procesos industriales, fallas mecánicas, errores humanos y causas premeditadas. Cabe señalar que estos eventos no son excluyentes entre sí, pues un incidente químico puede encadenarse a otros fenómenos químicos y/o naturales, y combinarse entre sí provocando un efecto dominó³ con la multiplicación y amplificación de los efectos o consecuencias.

Las consecuencias de un evento o conjunto de eventos pueden ser innumerables y aunque muchos de los efectos derivados del uso de sustancias químicas se desconocen, éstos pueden clasificarse en:

Efectos a la salud de la población a corto y largo plazo, por ejemplo: irritación de ojos y piel, tracto respiratorio, náusea, vómito, daño renal, hepático, gastrointestinal, respiratorio, neurológico, entre otros y, hasta la muerte de quienes están en contacto directo con la fuente del peligro químico o a las personas que habitan en los alrededores de ésta.

Efectos en el ambiente: contaminación del suelo, aire y agua (superficial y subterránea).

Efectos en las construcciones: daño o destrucción de maquinaria y equipos, instrumentos, instalaciones industriales, casas, comercios, etc.

Efectos en la economía: suspensión de actividades productivas, pérdida de empleos, gastos de reconstrucción de viviendas y servicios públicos, así como gastos de auxilio a la población afectada. (Cenapred, 2004a)

La magnitud y severidad de los eventos químicos dependen del tipo y de la cantidad de material peligroso involucrado, como también de la localización del incidente, particularmente la localización define la población y los recursos expuestos, así como las condiciones ambientales y atmosféricas que permitirán el desplazamiento del contaminante en el ambiente.

² La Ley General de Protección Civil (2000) define al fenómeno químico-tecnológico como la calamidad que se genera por la acción violenta de diferentes sustancias a razón de su interacción molecular o nuclear, y comprende fenómenos destructivos tales como incendios de todo tipo, explosiones, fugas tóxicas y radiaciones.

³ El efecto dominó implica la existencia de un accidente "primario" que impacta a una instalación (este accidente puede no ser un accidente grave), pero induce uno o varios accidentes "secundarios" que afectan a una o varias instalaciones adicionales. Este accidente o accidentes secundarios son accidentes más graves y amplían los daños del accidente "primario". Así, la extensión de los daños es tanto espacial (áreas no afectadas en el accidente primario que ahora resultan afectadas), como temporal (el accidente secundario afecta a la misma zona pero tiempo después que el primario; en este caso las instalaciones primarias y secundarias pueden ser la mismas), o ambas.

3.1. Caracterización del riesgo químico

Para caracterizar el riesgo químico en Mexicali se tomaron como referencia las siguientes fuentes: el manual para la clasificación y priorización de riesgos elaborado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1996), el manual de Cenapred (2004a), la Guía de respuesta en caso de emergencia (DOT, TC Y SCT, 2004) y el conjunto de programas de cómputo ALOHA-CAMEO-MARPLOT de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de Estados Unidos.

El manual de la IAEA (1996) provee un método cuya aplicación permite una revisión cuantitativa generalizada de los distintos riesgos en un área y facilita la jerarquización de las distintas fuentes de riesgos, a partir de los siguientes pasos:

- **Inventario y clasificación de las actividades peligrosas:** en esta fase se identifican las instalaciones peligrosas así como las rutas y métodos de transporte de materiales peligrosos en el municipio. De estas actividades, se seleccionan aquellas con mayor potencial para afectar a la población y se obtiene información sobre las sustancias y el manejo de éstas.
- **Trazado de áreas de peligro y estimación de consecuencias:** se estiman las consecuencias que pueden generarse por incidentes mayores para cada una de las actividades seleccionadas. Esto se lleva a cabo a partir de la multiplicación entre el área afectada por la densidad de población y aplicando diversos factores de corrección.
- **Estimación de las probabilidades de accidentes mayores:** las estimaciones se llevan a cabo por separado para las instalaciones fijas y para el transporte de sustancias peligrosas.
En instalaciones fijas, el método se basa en la estimación del promedio de frecuencias de incidentes, incorporando correcciones en operaciones específicas (carga/ descarga), sistemas de seguridad, manejo operacional y de seguridad, y la probabilidad de que la dirección del viento sea hacia un área poblada.
En el transporte de materiales peligrosos, el método se basa en la estimación del promedio de frecuencias de accidentes mayores para cada sustancia peligrosa (o grupo de sustancias) identificadas para cada porción de vialidad, vía de ferrocarril, canal o ducto analizado, incorporando correcciones en las condiciones de seguridad en el sistema de transporte; la densidad del tráfico; y la probabilidad de que la dirección del viento sea hacia zonas pobladas.
- **Estimación del riesgo social y jerarquización de riesgos:** se clasifica cada actividad de acuerdo con una escala de consecuencias y una escala de probabilidades. Todas las actividades peligrosas clasificadas en el área se muestran en una matriz de consecuencia-frecuencia que permite identificar, a partir de parámetros establecidos en las políticas nacionales o internacionales, qué probabilidades y/o consecuencias son suficientemente serias para requerir un tratamiento particular en el proceso de manejo del riesgo.

3.1.1. Inventario y clasificación de actividades peligrosas municipales

El *Reglamento de la Ley de Protección Civil del Estado de Baja California* (2003), explica que los fenómenos químico-tecnológicos están relacionados con el desarrollo industrial y tecnológico, y afectan principalmente a las grandes concentraciones humanas e industriales. Sin embargo es importante señalar que este tipo de fenómenos también se manifiestan en las actividades rurales, como la agricultura y ganadería, con la exposición a agroquímicos y refrigerantes, entre otros materiales disponibles.

En la recopilación de información acerca de las actividades peligrosas establecidas en el municipio de Mexicali, se recurrió a fuentes diversas. A la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente⁴ (Profepa) se le solicitó la lista de instalaciones de alto riesgo del municipio así como la cantidad y tipo de sustancia peligrosa que manejan⁵. En respuesta, esta dependencia proporcionó una lista con 67 establecimientos de los cuales sólo 23 contaban con la información solicitada (debido a que la base de datos de Profepa se encuentra en proceso de actualización). Esta información se le solicitó también a la Secretaría de Protección Ambiental de Estado de Baja California, dependencia de la cual no se obtuvo respuesta alguna. De igual forma se le solicitó a Protección Civil del Estado de Baja California el padrón de instalaciones peligrosas en el municipio con información sobre el nivel de riesgo y si generan o manejan sustancias y/o residuos peligrosos. En respuesta se recibió la notificación de que la dependencia no cuenta con información actualizada (debido a que la actualización se llevará a cabo el próximo semestre). Información adicional se recabó directamente de Petróleos Mexicanos (Pemex), de las empresas de distribución de gas y otras instalaciones. A lo anterior se sumó la información de las bases de datos disponibles de atlas de riesgos previos y de la Unidad de Protección Civil del municipio de Mexicali.

En general, las actividades peligrosas se clasifican en fuentes fijas y fuentes móviles. En las primeras se encuentran los establecimientos (industriales, comerciales y de servicios) donde se manejan y almacenan sustancias peligrosas, mientras que en las segundas se encuentran tanto el transporte como la distribución de las sustancias. Con base en la lógica anterior, en este capítulo, las actividades peligrosas municipales serán abordadas en el siguiente orden:

1. Instalaciones fijas que manejan sustancias peligrosas
 - a. Instalaciones industriales o plantas
 - b. Estaciones de carburación y de servicio
2. Transporte de sustancias peligrosas
 - a. Por vialidad o carretera
 - b. Por ferrocarril
 - c. Por ductos o tuberías

⁴ La Profepa es la dependencia federal encargada de vigilar que las empresas cumplan con la legislación ambiental que se aplica a establecimientos industriales, de servicio y comerciales, en las materias de competencia federal como son: atmósfera; residuos peligrosos (industriales, biológico infecciosos y prestadores de servicio); actividades altamente riesgosas e impacto ambiental.

⁵ Adicionalmente se le solicitó el padrón de confinamientos de residuos y centros de acopio así como los sitios contaminados por sustancias peligrosas.

3.1.2. Eventos históricos que demarcan la peligrosidad de las sustancias

A pesar de que el municipio de Mexicali tiene menos de un siglo de conformado (y poco más de un siglo de que se empezara a poblar), su perfil químico es complejo. Éste perfil ha cambiado a través del tiempo, e inicia con el desarrollo de una agricultura algodonera en las primeras décadas, el posterior surgimiento de la industria básica asociada a la agricultura a mediados de siglo y, en las últimas décadas, con la consolidación de una agricultura altamente tecnificada en el valle, la oferta de servicios turísticos en el puerto de San Felipe y el auge de la actividad industrial en la ciudad.

La transición de la actividad productiva municipal implica el cambio en el tipo y cantidad de sustancias peligrosas manejadas, almacenadas y distribuidas en el territorio. Esto se ha puesto en evidencia a través de incidentes químico-tecnológicos que se han presentado a lo largo del tiempo y en los efectos que éstos han tenido en la población y el ambiente. Un elemento adicional de cambio es la consolidación de la política nacional en materia ambiental⁶ en las últimas décadas, con el establecimiento de metas e instrumentos específicos de control de las actividades peligrosas para disminuir el impacto y el riesgo ambiental que representan.

En el registro de eventos industriales reportados por fuentes hemerográficas (de 1960 a 2010) y valorados a partir de los criterios de la tabla 66, se encontraron incidentes como incendios, explosiones y fugas de sustancias en distintos giros de la actividad industrial, de las cuales sobresalen, por el número de incidentes reportados, los giros de fabricación de alimentos y bebidas, de papel, metal-mecánica y química (ver columnas 1 y 2 de la tabla 67).

Tabla 66. Categorías de efectos de incidentes en establecimientos.

ACCIDENTES	EFECTOS			
	Establecimiento	Personas	Medio ambiente	Bienes materiales
Categoría 1	Daños materiales	Posibles heridos dentro del establecimiento	No	No
Categoría 2	Daños materiales	Posibles víctimas y heridos dentro del establecimiento	Daños leves o efectos adversos en zonas limitadas	Posibles daños leves fuera del establecimiento
Categoría 3	Daños materiales	Posibles víctimas y heridos dentro y fuera del establecimiento	Daños y alteraciones graves en zonas extensas	Posibles daños graves fuera del establecimiento

Fuente: Elaboración propia.

Acercas de los eventos registrados en instalaciones industriales, se encontró que los incendios ocurrieron en una mayor diversidad de los giros industriales (94% de los giros) y con mayor frecuencia que el resto de los fenómenos destructivos. La revisión de las causas reportadas indica que si bien la sustancia peligrosa (gas o líquido inflamable) participó como detonadora del incidente en muchos de los casos sucedió que, en ciertas empresas -que no son de alto riesgo y manejan materiales que se consumen fácilmente por el fuego (papel, cartón, etc.)- una

⁶ Por ejemplo, con la conformación de la legislación en materia ambiental, la creación de instituciones INE-SEMARNAP-PROFEPA, la creación de instrumentos de control e información (manifiestos de impacto ambiental, estudios de riesgo, reportes de generación, el sistema integral de rastreo de residuos, entre otros).

fuelle de ignición ajena al proceso industrial detonó el incendio (son frecuentes los incendios iniciados por acciones de mantenimiento y soldadura o por cortos circuitos).

Por su parte, las fugas de sustancias peligrosas son menos frecuentes que los incendios y se presentaron en 50% de los giros industriales reportados. Sobre los incidentes de fugas de sustancias se señalan fallas en los ductos, tuberías y tanques donde se almacena o por donde se distribuye la sustancia pero también se presenta el descuido por parte de los trabajadores de la empresa como una causa frecuente.

Las explosiones son poco frecuentes y se presentaron en 8% de los giros con incidentes reportados. Los reportes indican que las fallas en tuberías y tanques son más comunes pero también existen explosiones detonadas por causas ajenas al proceso industrial y a las condiciones de manejo y almacenamiento de la sustancia.

Tabla 67. Incidentes con sustancias peligrosas en industrias (1960 a 2010).

GIRO INDUSTRIAL	% INCIDENTES	INCENDIO	FUGA DE SUSTANCIA	EXPLOSIÓN
Agroquímicos	6%	X	X	
Alimento para ganado	3%	X		
Alimentos y bebidas	15%	X	X	
Asfalto	6%	X		X
Despepitadora	5%	X		
Eléctrica-electrónica	6%	X	X	
Hielo	3%	X	X	
Metal -mecánica	10%	X	X	
Muebles	5%	X		
Otras	6%	X	X	
Papel y cartón	13%	X		X
Planta de gas	2%		X	
Plástico	3%	X		
Química	10%	X	X	X
Textil	3%	X		
Vidrio	3%	X		
TOTAL	100%	15	8	3
Efectos	Categoría 1	93%	56%	20%
	Categoría 2	7%	44%	80%

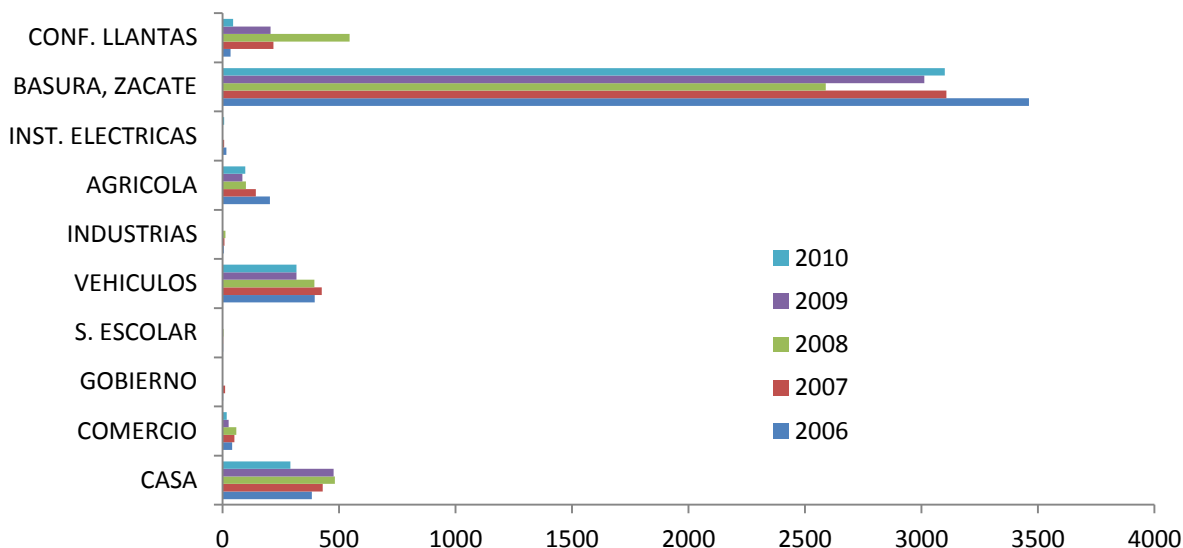
Fuente: Elaboración propia.

La comparación entre los tres principales fenómenos destructivos nos permite observar que en las instalaciones industriales del municipio de Mexicali, los incendios son más probables pero tienen menores consecuencias que el resto de los eventos (sólo 7% de ellos son categoría 2); las fugas de sustancias presentan probabilidades y consecuencias intermedias (44% de ellas son de categoría 2); mientras que las explosiones son menos frecuentes o probables pero tienen mayores consecuencias por incidente (80% de ellas son de categoría 2).

En este punto, cabe aclarar que si bien los incendios son el evento más frecuente en las instalaciones industriales, éstos representan sólo 0.1% del total de incendios registrados en el municipio en el período del 2006 al 2010 (ver gráfica 13), entre los cuales predominan los incendios por basura y zacate (con 72.2% de los incendios) y, aunque muy distante con respecto al anterior, en segundo lugar se encuentran los incendios en casa habitación. Si bien

el análisis de actividades de menor riesgo no son parte del objetivo del presente atlas, es conveniente sugerir que los incendios de tipo crónico (de bajas consecuencias y de alta frecuencia) que se llevan a cabo en instalaciones no catalogadas como altamente peligrosas, sean abordados en programas específicos de mitigación de riesgos para eventos de menor impacto, con la idea de evitar que, al mediano o largo plazo, acumulen mayores daños y pérdidas que los incidentes en establecimientos de alto riesgo.

Gráfica 13. Incendios atendidos por bomberos ocurridos por tipo de actividad (2006-2010).



Fuente: Coplademm (2009) y H. Cuerpo de Bomberos (2011).

Con respecto al manejo de sustancias peligrosas, el H. Cuerpo de Bomberos del municipio de Mexicali muestra la evolución de los incidentes relacionados con sustancias peligrosas, la cual se presenta en la tabla 68, donde se observa el predominio de la fuga de gas en instalaciones y depósitos (88%) sobre las emergencias químicas, como también se observa una disminución considerable de incidentes en los últimos dos años.

Tabla 68. Incidentes con sustancias peligrosas (2005-2010).

Tipo de incidente	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TOTAL
Emergencias químicas	110	41	72	28	0	0	251
Fuga de gas en instalaciones	294	298	221	347	30	35	1225
Fuga de gas en depósitos	178	82	90	19	2	4	375
TOTAL	582	421	383	394	32	39	1851

Fuente: Compladem (2009) y datos del H. Cuerpo de Bomberos (2011).

3.2. Instalaciones fijas

En el municipio de Mexicali se encuentran asentadas gran diversidad de industrias y actividades comerciales que procesan o almacenan sustancias peligrosas y, por la cantidad y tipo de sustancia que manejan, de acuerdo con la Profepa, alrededor de 70 empresas pueden ser consideradas de alto riesgo. Esta cifra asciende a 103 instalaciones si se toman en cuenta

otras fuentes de información⁷ y comprende el manejo de 11 tipos de sustancias y de residuos peligrosos (ver tabla 69).

Tabla 69. Sustancias peligrosas en fuentes fijas del Municipio de Mexicali.

SUSTANCIA	FÓRMULA	UN	GUIA	TIPO	FUENTES FIJAS
Acetileno	C ₂ H ₂	1001	116	Gas inflamable	Plantas de fabricación y comercialización de gases industriales.
Ácido fluorhídrico	HF-H ₂ O	1790	157	Líquido de mediana toxicidad	Plantas de fabricación y comercialización de químicos industriales.
Ácido nítrico	HNO ₃	2031	157	Líquido de mediana toxicidad	Industria aeroespacial, metal-mecánica y eléctrica- electrónica.
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	1830	137	Líquido tóxico	Plantas de fabricación y comercialización de agroquímicos.
Amoniaco	NH ₃	1005	125	Gas de mediana toxicidad	Industria de alimentos y bebidas, empresas de fabricación de hielo, plantas de fabricación y comercialización de agroquímicos.
Cloro	CL ₂	1017	124	Gas altamente tóxico	Plantas potabilizadoras de agua
Gas L.P.	C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀	1075	115	Gas inflamable	Plantas generadoras de energía eléctrica, plantas de distribución de gas y estaciones de carburación.
Gasolina	Mixto	1203	128	Líquido inflamable	Plantas de almacenamiento de combustibles y estaciones de servicio
Hidracina	N ₂ H ₄	2029	132	Líquido inflamable	Plantas de fabricación y comercialización de químicos industriales.
Nitrógeno líquido	N ₂	1977	120	Gas no inflamable	Plantas de fabricación y comercialización de químicos industriales.
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	2015	143	Líquido altamente tóxico	Plantas de fabricación y comercialización de químicos industriales.
Residuos peligrosos	Varios	Mixto	N.E.	Varios	Empresas de acopio, tratamiento, reciclaje, reúso y disposición final de residuos peligrosos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Profepa (2011) y CAMEO *Chemicals* v. 2.0.1.

El inventario de instalaciones peligrosas permite observar que el municipio de Mexicali presenta un perfil químico particular, derivado de la actividad económica local (industrial, agrícola y de servicios), con una marcada distinción entre la ciudad, el valle y el puerto de San Felipe, como se describe a continuación:

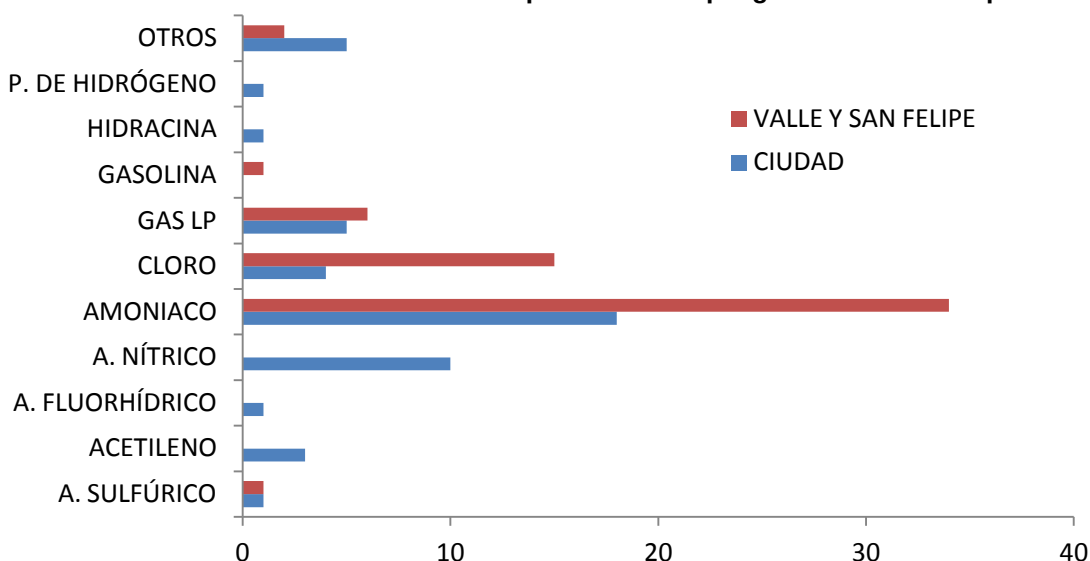
En el valle de Mexicali se encuentran asentadas, a lo largo de las carreteras, las empresas que fabrican y distribuyen agroquímicos, las plantas comercializadoras de gas (gaseras), las plantas generadoras de electricidad (termoeléctrica, geotérmica) y las empresas de manejo de residuos peligrosos; mientras que en algunos poblados del valle y en el puerto de San Felipe se localizan las plantas potabilizadoras de agua, las industrias de alimentos y de fabricación de hielo que, en conjunto, implican 55% de los registros obtenidos y la presencia de sustancias peligrosas como el amoniaco, el cloro (gas cloro), el gas L.P. y la gasolina.

Por su parte, en la ciudad (y en su zona de expansión) se presenta una mayor diversidad de instalaciones peligrosas, entre ellas, las plantas industriales de los giros metal-mecánica y

⁷ Estas 103 instalaciones en conjunto representaron 108 registros de sustancias peligrosas manejadas porque existen empresas que manejan más de una sustancia.

eléctrica-electrónica, de fabricación de alimentos y bebidas, de fabricación de hielo, las plantas de fabricación y comercialización de agroquímicos, químicos y gases industriales, las plantas de potabilización de agua, las plantas comercializadoras de gas (gaseras) y las empresas de manejo de residuos peligrosos. Estas instalaciones representan 45% de los registros en el municipio y manejan sustancias peligrosas como el amoníaco, el cloro, el acetileno, el ácido nítrico, la gasolina, el gas L.P., entre otras (ver gráfica 14).

Gráfica 14. Establecimientos por sustancia peligrosa en el municipio.



Fuente: elaboración propia a partir de Profepa (2011) y Ley y cols., (2007).

3.2.1. Trazado de áreas de peligro

Para determinar las categorías de afectación y el trazo del área de peligro el método de la IAEA (1996:13) asume lo siguiente:

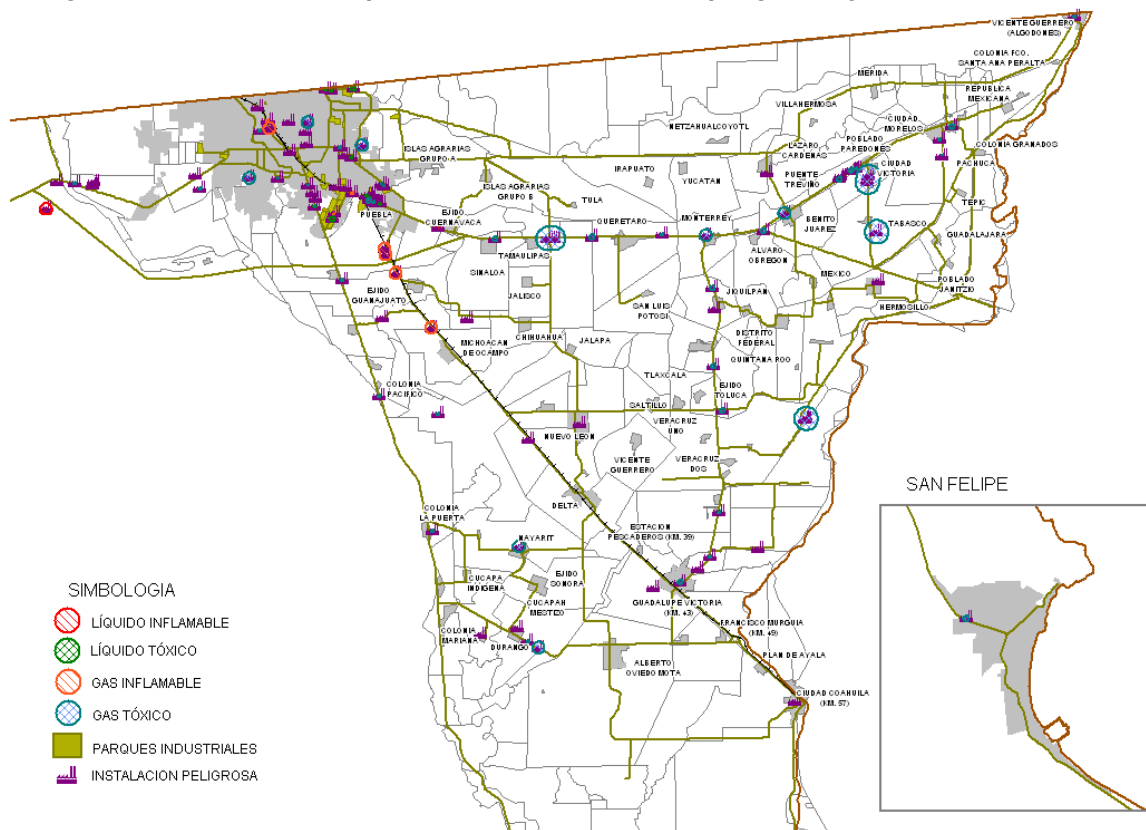
- Se considera que el incidente es el máximo posible (en instalaciones fijas o en el transporte de materiales).
- Se considera únicamente la distancia letal y no las distancias donde puede haber afectaciones a la salud de distinta magnitud.
- Los criterios para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes tóxicas son:
Se calcula la dispersión de los gases con una estabilidad atmosférica D con velocidad de viento 5 m/s. Estos valores representan factores ambientales promedios y no la peor situación.
El 100% de muertes ocurre por exposición de seres humanos a la concentración de la sustancia a un LC50 durante 30 minutos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración, pero se subestima para el área fuera de la misma.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por incendios se considera un flujo de calor de 5-10 Kw/m² durante 30 segundos.
- Para calcular el área donde se obtiene el 100% de muertes por nubes explosivas se considera una presión de 0.3 bar para zonas de alto riesgo y mayor de 1 bar para las inmediaciones del centro de detonación.

- El cálculo obtiene las consecuencias externas a la instalación, por lo que no considera a las personas que laboran o se encuentran dentro de los establecimientos, ni las personas que circulan por las vías de transporte analizadas.

Aún cuando fue posible ubicar geográficamente la mayoría de las instalaciones del municipio, en el cálculo del nivel de riesgo sólo se tomaron en cuenta los registros con información suficiente (tipo y cantidad de sustancia). Consecuentemente, de los 108 registros obtenidos, sólo 89⁸ fueron evaluados y se obtuvieron los radios de afectación (que van de los 25 a los 1000 metros) para identificar las zonas expuestas, resultando 72 registros con áreas de afectación con efectos significativos.

La distribución de las instalaciones peligrosas en general y de aquellas con radios de afectación se representa en la figura⁹ 80, donde se observa una alta concentración de instalaciones en el área urbana y la ubicación dispersa de empresas a lo largo de las principales carreteras del valle, al igual que sucede con la única instalación peligrosa de San Felipe.

Figura 80. Distribución espacial de las instalaciones peligrosas y los radios de afectación.



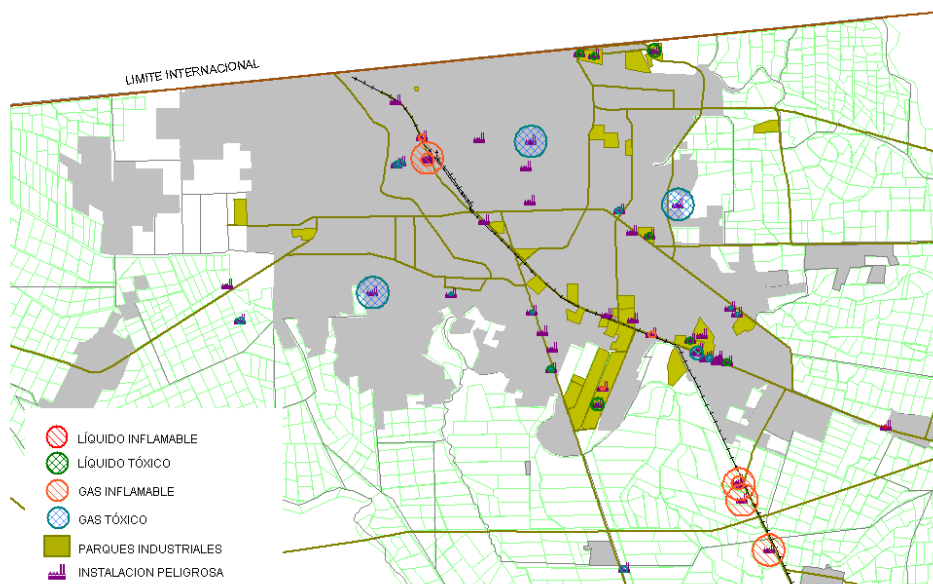
Fuente: Elaboración propia.

⁸ Los 89 registros corresponden a 23 empresas del listado de Profepa y 66 proporcionados por otras fuentes de información.

⁹ Las figuras que se muestran en el documento son ilustrativas y fueron seleccionadas para ejemplificar algunos de los casos encontrados. Si se desea conocer con mayor precisión los radios de afectación por sustancia química y la distribución espacial de las instalaciones peligrosas, se recomienda consultar el Sistema de Información Geográfica que acompaña al presente atlas.

En la ciudad, aproximadamente dos terceras partes de las empresas de alta peligrosidad se localizan fuera de los parques industriales, próximas a las vialidades principales y algunas de ellas en zonas habitacionales, estas últimas con radios de afectación significativos (ver figura 81).

Figura 81. Distribución espacial de las instalaciones peligrosas y radios de afectación en la ciudad



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe la distribución espacial de las empresas en el municipio a partir de la sustancia peligrosa que manejan y los radios de afectación (RA) encontrados. La información de las sustancias se obtiene de las hojas de seguridad y de los datos contenidos en el programa CAMEO Chemicals v. 2.0.1.

AMONIACO (gas tóxico)

De acuerdo con la metodología utilizada, los radios de afectación por el manejo de amoníaco abarca la mayor superficie expuesta a químicos en el municipio, no sólo por la cantidad de empresas que lo utilizan sino por las características físicas de la sustancia que facilitan su movilidad en el aire.

El amoníaco es un gas licuado comprimido, incoloro, de olor acre, más ligero que el aire y difícil de encender. El líquido derramado tiene muy baja temperatura y se evapora rápidamente. Frente al choque con óxidos de mercurio, plata y oro se forman compuestos inestables. La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, halógenos e interhalógenos. Ataca el cobre, aluminio, zinc y sus aleaciones. Al disolverse en agua desprende calor y cuando se calienta desprende humos tóxicos. La sustancia tóxica se puede absorber por inhalación. Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva en el aire. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones puede originar edema pulmonar. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.

El amoníaco se utiliza principalmente en el valle de Mexicali (65% de los registros), en las empresas que fabrican o comercializan agroquímicos, las cuales almacenan grandes cantidades de esta sustancia pero, por su distribución espacial a lo largo de las carreteras y a cierta distancia de los poblados, la liberación de la sustancia no alcanza de manera inmediata a los habitantes del lugar.

Figura 82. Ejemplo de cobertura parcial de poblado por RA.



Fuente: Elaboración propia.

empresas de agroquímicos pero exponen a un mayor número de personas. En cambio, en el caso de las instalaciones de fabricación de jugos y bebidas el radio de afectación escasamente rebasa al edificio donde se lleva a cabo el proceso y, si acaso, abarca parcialmente las vialidades colindantes.

CLORO (gas tóxico)

El cloro es un gas altamente tóxico, más denso que el aire, con color entre verde y amarillo, de olor acre. Reacciona violentamente con muchos compuestos orgánicos, amoníaco y partículas metálicas, originando peligro de incendio y explosión. Ataca a muchos metales en presencia de agua. Ataca al plástico, caucho y recubrimientos.

Con respecto a los efectos a la salud, la sustancia se puede absorber por inhalación. Al producirse una pérdida de gas, se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La exposición por encima de los límites de exposición ocupacional puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. En exposición prolongada la sustancia puede afectar al pulmón y a la dentadura, dando lugar a

Aunque escasas, existen algunas plantas cuyo radio de afectación abarca parcialmente algunos poblados (ver ejemplo en figura 82). En algunos casos, la concentración de empresas de agroquímicos en ciertos lugares genera un traslape de radios de afectación por lo que la liberación del amoníaco en una planta puede provocar un incidente en la otra amplificando los daños y pérdidas como resultado del efecto dominó.

En la ciudad, el amoníaco se utiliza principalmente como refrigerante. De las empresas que lo utilizan (35% de los registros), las empresas de fabricación de hielo, instaladas en zonas habitacionales, abarcan menores radios que las

Figura 83. Ejemplo de cobertura parcial de la instalación en zona industrial por RA



Fuente: Elaboración propia.

bronquitis crónica y erosiones dentales, respectivamente.

En el municipio de Mexicali, el cloro se maneja principalmente en las plantas potabilizadoras de agua las cuales se distribuyen tanto en la ciudad como en el valle y San Felipe, variando la cantidad de sustancia almacenada y, por lo tanto, los radios de afectación de los establecimientos.

El valle de Mexicali concentra la mayor cantidad de instalaciones (79% de los registros) que manejan cloro, éstas se distribuyen en todo el territorio generalmente a las orillas de los poblados. Por tal razón, los radios de afectación abarcan de manera parcial o total las zonas habitadas de los poblados principales, aunque en muchos casos, por la cantidad de cloro que utilizan, los radios de afectación no son significativos o no cubren más allá del predio de la empresa.

Figura 84. Ejemplo de cobertura de áreas habitadas urbanas por RA.



Fuente: Elaboración propia.

En la ciudad de Mexicali, se encuentran instaladas tres plantas potabilizadoras de agua a cargo de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), las cuales manejan mayores cantidades de cloro que las plantas de este tipo asentadas en el valle. Por tal razón los radios de afectación de estas instalaciones cubren distancias de hasta 500 metros y por su localización, abarcan zonas habitacionales de densidad media y alta (ver ejemplo en la figura 84), incrementando con ello las posibles consecuencias o afectados posibles en caso de accidente.

GAS LICUADO DE PETRÓLEO (gas inflamable)

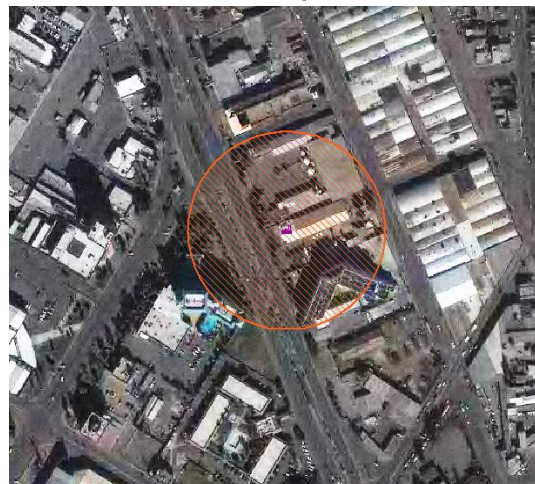
El gas licuado del petróleo o gas L.P. es un gas inflamable. Adicionalmente a las posibilidades de explosión e incendio que provocan quemaduras y otros efectos adversos a la salud, la salpicadura de una fuga de gas licuado provoca congelamiento momentáneo, seguido de hinchazón y daño ocular. El contacto con la piel genera quemaduras frías. En altas concentraciones (más de 1000 ppm), el gas licuado es un asfixiante simple, debido a que diluye el oxígeno disponible para respirar. Los efectos de una exposición prolongada pueden incluir: dolor de cabeza, náusea, vómito, tos, signos de depresión en el sistema nervioso central, dificultad al respirar, mareos, somnolencia y desorientación. En casos extremos pueden presentarse convulsiones, inconsciencia, incluso la muerte como resultado de la asfixia. En fase líquida puede ocasionar quemaduras por congelamiento.

En el municipio de Mexicali las instalaciones que manejan gas L.P. en cantidades suficientes para considerarse peligrosas, son principalmente las plantas que lo distribuyen y las termoeléctricas, las cuales se encuentran instaladas en la zona de expansión urbana o en la superficie rural más próxima al área urbana (interfase rural-urbana). Por lo anterior, pese a que los radios de afectación tienen distancias de hasta 500 metros, éstos no abarcan zonas pobladas. En este punto es importante no perder de vista que el crecimiento urbano hacia el sur de la ciudad tiende a aproximar zonas habitacionales de alta densidad a las instalaciones peligrosas de este tipo. Por su parte, la concentración de gaseras en un mismo punto conlleva al traslape de radios de afectación que implican un posible efecto dominó.

ACETILENO (gas inflamable)

El acetileno es un gas extremadamente inflamable, disuelto en acetona a presión, es incoloro y se mezcla bien con el aire, formando fácilmente mezclas explosivas. La sustancia puede polimerizar debido al calentamiento intenso. Se descompone al calentarla intensamente y aumentar la presión, causando peligro de incendio o explosión. Es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes y con flúor o cloro bajo la influencia de luz, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con cobre, plata y mercurio o sus sales, formando compuestos sensibles a los choques (acetiluros). Con respecto a la salud, la sustancia se puede absorber por inhalación. Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire.

Figura 85. Ejemplo de cobertura de vialidad y otras instalaciones industriales por RA



Fuente: Elaboración propia.

El acetileno se utiliza en las plantas de fabricación y comercialización de químicos industriales en la ciudad, cuya localización en vialidades principales y zonas industriales (ver el ejemplo de la figura 85), evita que sus radios de afectación abarquen zonas habitadas. Aunque debe tomarse en cuenta el tipo de instalación colindante para evitar que se presente cualquier efecto dominó.

ÁCIDO NÍTRICO (líquido tóxico)

El ácido nítrico es un líquido entre incoloro y amarillo, de olor acre y mediana toxicidad. Es una sustancia que se descompone al calentarla suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores (como trementina, carbón y alcohol). La sustancia es un ácido fuerte que reacciona violentamente con bases y es corrosiva para los metales. Además, reacciona violentamente con compuestos orgánicos (como acetona, ácido acético, anhídrido acético), originando peligro de incendio y de explosión. Ataca algunos plásticos. Con respecto a la exposición a la sustancia, ésta se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión. Por evaporación de esta sustancia a 20°C, se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar.

Las instalaciones que manejan ácido nítrico se encuentran asentadas en la ciudad, éstas son industrias grandes (más de 250 empleados) de los giros metal-mecánica y eléctrica-electrónica. Estas empresas se ubican en parques industriales y su radio de afectación abarca, si acaso, las inmediaciones del edificio de la empresa, aunque en uno de los casos, implica la exposición de viviendas aledañas al parque industrial.

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (líquido tóxico)

El peróxido de hidrógeno es un líquido incoloro que se descompone al calentarlos suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno, situación que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y

reductores, causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales. Ataca a muchas sustancias orgánicas como textiles y papel. Con respecto a la exposición a la sustancia, ésta se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del vapor o la niebla puede originar edema pulmonar.

En el municipio de Mexicali, sólo en la ciudad se encuentran las empresas de fabricación y comercialización de químicos industriales que manejan y almacenan peróxido de hidrógeno, cuyo radio de afectación abarca a la empresa y parte de las vialidades colindantes.

GASOLINA (líquido inflamable)

La gasolina es un líquido inflamable. El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo y ocasionar una posible ignición en un punto distante. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación y otros manejos, se pueden generar cargas electrostáticas. La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. En exposición repetida o prolongada el líquido desengrasa la piel, puede afectar al sistema nervioso central e hígado y es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

Figura 86. Ejemplo de traslape de RA de instalaciones



Fuente: Elaboración propia.

Al municipio de Mexicali, la gasolina llega a través de un poliducto a la Terminal de Abastecimiento y Reparto (TAR) Mexicali localizada rumbo a la carretera Mexicali-Tijuana en el libramiento La Rosita. En esta terminal se almacenan 155,000 barriles de gasolina (aproximadamente 24 millones y medio de litros) para ser distribuidos en el municipio a las estaciones de servicio existentes. Debido a que esta instalación se asienta en una zona despoblada, su radio de afectación no se traslapa con asentamientos humanos.

HIDRACINA (líquido inflamable)

La hidracina es un líquido higroscópico, incoloro, humeante, de olor acre. La sustancia se descompone, produciendo vapores amoniacales, hidrógeno y óxidos de nitrógeno, causando peligro de incendio y explosión. Es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes. Es moderadamente básica. Reacciona violentamente con muchos metales, óxidos metálicos y materiales porosos, originando peligro de incendio y explosión. Con respecto a la salud humana, la sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. La sustancia es corrosiva para los ojos y la piel. El vapor es corrosivo para el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar.

Puede causar efectos en el hígado, el riñón y el sistema nervioso central. La exposición puede producir la muerte. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

En Mexicali la hidracina o hidrazina es manejada por una empresa de fabricación y comercialización de químicos industriales y su radio de afectación abarca las inmediaciones de la empresa.

3.2.2. Estimación de consecuencias

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ($C_{a,s}$), se realizó con base en la metodología de la IAEA (1996) a partir de la siguiente fórmula:

$$C_{a,s} = A \times d \times f_a \times f_d \times f_m$$

Donde se multiplica el área afectada (A) por la densidad de población en dicha área (d), y por los tres factores de corrección: f_a (por área poblada), f_d (por distancia) y f_m (por efectos de mitigación).

Como resultado se obtuvo, para el municipio de Mexicali, que las instalaciones con mayor potencial catastrófico son aquellas que pueden ocasionar entre 50 y 100 muertes¹⁰ por incidente, estas instalaciones manejan gas L.P. y cloro y su radio de afectación abarca un número considerable de personas porque se encuentran localizadas próximas a zonas habitacionales urbanas de densidad media y alta (ver tabla 70).

Tabla 70. Consecuencias por evento de las instalaciones peligrosas.

CONSECUENCIA (Muertes)	REGISTROS (Frecuencia)	PORCENTAJE	SUSTANCIA PELIGROSA
0-10	64	89%	Amoniaco, Cloro, Acetileno, Gas L.P., Ácido Nítrico, Peróxido de Hidrógeno, Hidracina
10-25	5	7%	Cloro, Gasolina, Amoniaco
25-50	0	0%	Ninguno
50-100	2	3%	Cloro
100-250	1	1%	Gas L.P.
250-500	0	0%	Ninguno
500-1000	0	0%	Ninguno
Total	72	100%	

Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Cabe aclarar que en este cálculo no se incluyen los empleados de las empresas, por lo que debe considerarse que las consecuencias reales son mayores, sobre todo en las empresas grandes.

3.2.3. Probabilidad de incidentes mayores

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año en una instalación determinada ($P_{i,s}$) se obtuvo en relación al número de probabilidad $N_{i,s} = |\log P_{i,s}|$ y éste último con la siguiente fórmula tomada de IAEA (1996):

$$N_{i,s} = N_{i,s}^* + n_i + n_f + n_o + n_p$$

Para obtener el número de probabilidad ($N_{i,s}$) se realiza la suma de la probabilidad promedio para la instalación y la sustancia, y los números de corrección de la probabilidad, por frecuencia de operaciones de carga y descarga (n_i), por sistemas de seguridad para sustancias inflamables (n_f), por la organización y manejo de seguridad (n_o) y la dirección del viento hacia las zonas pobladas (n_p).

Los resultados del cálculo de probabilidades se resumen en la tabla 71, donde se observa que en las instalaciones de manejo de gas tóxico y gas inflamable existe una mayor probabilidad de que ocurra un accidente que libere dichas sustancias peligrosas. Si bien, de acuerdo con el criterio de Cenapred (2004a), las probabilidades obtenidas indican que estos sucesos pueden ser raros o muy raros en el municipio, esta información permite plantear metas de disminución de riesgo específicas en actividades de efectos tipo crónico (baja consecuencia-alta frecuencia) y de tipo catastrófico (alta consecuencia-baja frecuencia).

Tabla 71. Probabilidad de un incidente mayor en un año en instalaciones fijas.

PROBABILIDAD ($P_{i,s}$)	REGISTROS (frecuencia)	PORCENTAJE	MATERIAL
3×10^{-4}	1	1%	Amoniaco
1×10^{-5}	22	31%	Acetileno, Amoniaco y Cloro
3×10^{-5}	40	56%	Acido Nítrico, Amoniaco, Cloro, Hidracina, Peróxido de Hidrógeno, Gasolina, Gas L.P.
1×10^{-6}	3	4%	Acido Nítrico, Gas L.P.
3×10^{-6}	6	8%	Gas L.P.
Total	72	100%	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Aceptabilidad del riesgo

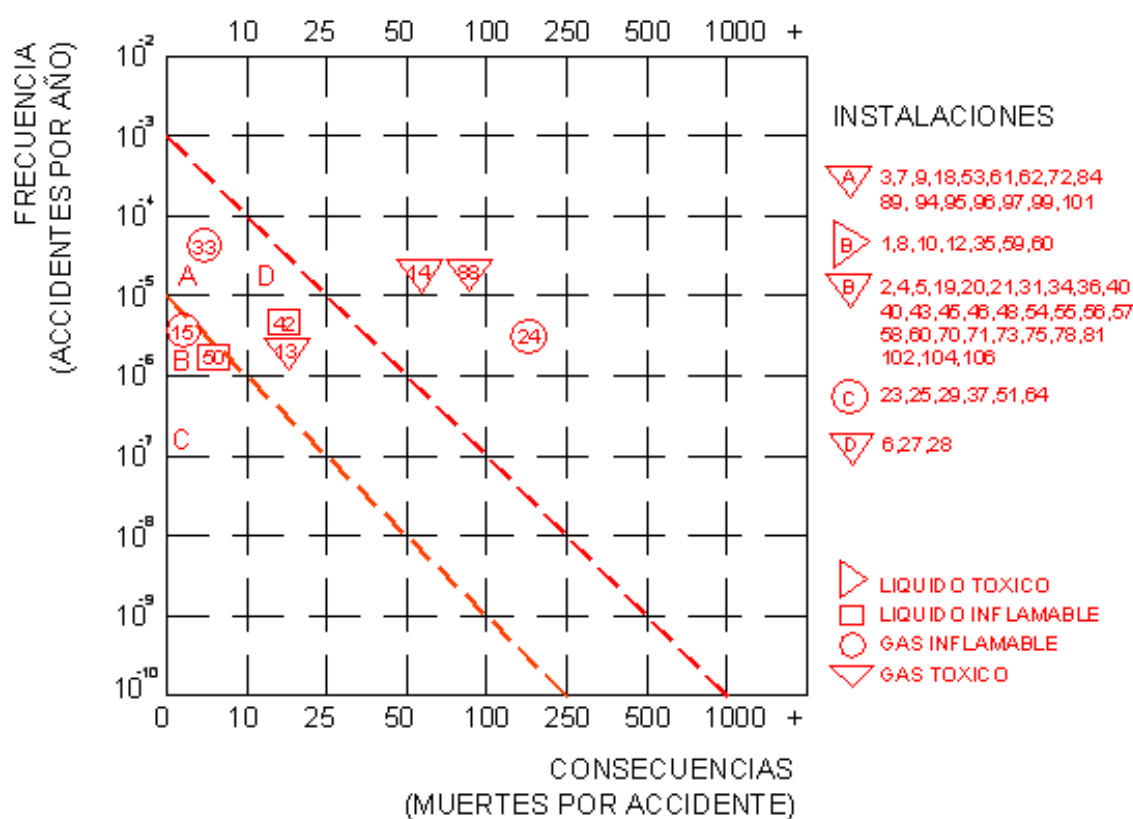
En México no existen criterios definidos de aceptabilidad de riesgo para la actividad industrial y comercial, por ello en este trabajo se retoman los criterios reportados por Cenapred (2004a) para otros países, los cuales se trazan en la matriz consecuencia-frecuencia como líneas para diferenciar tres zonas de aceptabilidad del riesgo (riesgos aceptables, tolerables e intolerables) y clasificar las actividades peligrosas del municipio.

Como se observa en la figura 87 son pocas las instalaciones que representan un riesgo inaceptable, éstas son las plantas potabilizadoras de agua y una de las gaseras, ubicadas en el área urbana en zonas próximas a fraccionamientos habitacionales de densidad media y alta. Si bien la probabilidad de que ocurra un accidente es muy baja en estas instalaciones las consecuencias serían muy altas si éste se presentara, por lo que estos establecimientos resultan de atención prioritaria (prioridad 1).

Una tercera parte de las instalaciones son de prioridad 2, porque tienen un nivel de riesgo tolerable. Estas empresas se localizan en zonas de densidad baja de la ciudad o en los poblados del valle y San Felipe. Se trata de empresas comercializadoras de químicos industriales, plantas de almacenamiento de gasolina (Pemex), plantas potabilizadoras de agua, de fabricación de hielo y de comercialización de agroquímicos.

Aproximadamente 64% de las instalaciones tienen un riesgo aceptable y son de prioridad 3. Estas empresas se localizan en zonas despobladas o de muy baja densidad habitacional, entre ellas se encuentran la mayoría de las gaseras, las industrias instaladas en parques industriales con giros metal-mecánica y eléctrica-electrónica, las empresas que fabrican alimentos, bebidas, y hielo, los empaques hortícolas y dos plantas potabilizadoras.

Figura 87. Matriz consecuencia-frecuencia de las instalaciones peligrosas de Mexicali.¹¹



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la distribución municipal de las instalaciones peligrosas, cabe señalar que 100% de las instalaciones con riesgo intolerable se concentran en la ciudad; en cambio 74% de las instalaciones de riesgo tolerable se encuentran en el valle y San Felipe, y el resto (26%) en la

¹¹ Para conocer la relación de empresas (nombre, ubicación, tipo y cantidad de sustancia peligrosa manejada, entre otras cosas) consulte el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

ciudad; mientras que las instalaciones con riesgo aceptable se distribuyen en partes iguales en la ciudad y el resto del municipio.

Tabla 72. Instalaciones por nivel de aceptabilidad del riesgo y material peligroso.

ACEPTABILIDAD	GAS INFLAMABLE	GAS TÓXICO	LÍQUIDO INFLAMABLE	LÍQUIDO TÓXICO	TOTAL
INTOLERABLE	1	2	0	0	3
TOLERABLE	2	20	1	0	23
ACEPTABLE	7	29	1	9	46
TOTAL	10	51	2	9	72

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Equipamiento expuesto

La superposición de los radios de afectación con la capa de equipamiento del INEGI permite identificar 36 elementos de equipamiento que se encuentran expuestos a sustancias peligrosas (gas tóxico y gas inflamable), 42% de ellos son escuelas, 19% plazas o jardines, 11% oficinas de gobierno, 28% el resto del equipamiento (ver tabla 73). Del equipamiento identificado, 58% está expuesto a cloro, 28% a amoníaco y 14% a gas L.P.

Conforme al perfil químico característico de la ciudad y del valle de Mexicali, la distribución del equipamiento expuesto es distinta para cada uno de ellos. Con respecto al cloro, 57% del equipamiento expuesto se encuentra en la ciudad, mientras que el 43% restante se encuentra en el valle distribuido en los poblados de Algodones, Ciudad Morelos y Guadalupe Victoria. El caso contrario es el amoníaco con el total del equipamiento expuesto en el valle distribuido en los poblados de Paredones y Benito Juárez. Mientras que el equipamiento expuesto a gas L.P. se concentra en la ciudad.

Tabla 73. Tipo de equipamiento expuesto por tipo de sustancia.

EQUIPAMIENTO	COLORO	AMONÍACO	GAS L.P.	Total
Central o terminal de autobuses	0	0	3	3
Centro de asistencia médica	1	1	0	2
Oficina de gobierno	2	2	0	4
Escuela	12	3	0	15
Instalación deportiva o recreativa	0	1	0	1
Plaza o jardín	4	2	1	7
Plaza de toros	0	0	1	1
Templo	2	1	0	3
Total	21	10	5	36

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Estaciones de servicio y carburación

La distribución al menudeo de gasolina y diesel se lleva a cabo en las estaciones de servicio (usualmente llamadas gasolineras), mientras que la distribución al menudeo de gas L.P. principalmente para uso automotriz se lleva a cabo en las estaciones de carburación. La distribución espacial de estas estaciones depende del comportamiento económico de la región, de la densidad poblacional y las tendencias de crecimiento de la demanda de combustibles (Cenapred, 2001a:180).

El aumento del número de estaciones de servicio y carburación en el país ha sido constante, por lo que se ha incrementado el riesgo de accidente donde puede verse involucrada la población, sobre todo cuando la densidad poblacional en torno a estos establecimientos es elevada o cuando se ubican en una zona de alto tráfico vehicular, como en las carreteras y zonas comerciales (Cenapred, 2001a:180).

Los incidentes relacionados con las estaciones de servicio son los derrames o fugas de líquidos combustibles que pueden ocasionar la contaminación del suelo en los sitios donde se encuentran instalados los tanques de almacenamiento y la posterior migración del contaminante a la red de drenaje y cuerpos de agua en zonas más extensas. Otros accidentes frecuentes son la inflamación del material y las explosiones, cuando el mantenimiento de las instalaciones o el manejo de las sustancias se lleva a cabo de forma inadecuada (Cenapred, 2001a:180). Por su parte, los incidentes asociados a las estaciones de carburación son la fuga de gas que puede ocasionar incendios, explosiones y asfixia.

En el municipio de Mexicali, el crecimiento poblacional y de las actividades económicas, han fomentado el incremento en el número de vehículos circulantes, por lo que constantemente la demanda de combustibles ha ido en aumento multiplicándose el número de estaciones de servicio y carburación en la ciudad, el valle y el puerto de San Felipe. El municipio cuenta con 181 estaciones de servicio, de las cuales 81% se encuentran en la ciudad distribuidas en las vialidades principales y secundarias, mientras que el 29% restante se encuentran en el valle y San Felipe distribuidas a lo largo de las carreteras. Adicionalmente el municipio cuenta con 65 estaciones de carburación de las cuales 72% se distribuyen en la ciudad y el 28% restante en el valle y San Felipe.

3.3.1. Estimación de consecuencias y probabilidad de incidentes mayores

De acuerdo con el método de la IAEA (1996), por el tipo y la cantidad de sustancia peligrosa almacenada, los radios de afectación de las estaciones de servicio y carburación abarcan distancias de 50 y 100 metros respectivamente. El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en una actividad ($c_{a,s}$), conforme a la fórmula descrita en la sección anterior, permitió obtener los resultados de la tabla 74 donde se observa el potencial catastrófico de 43% de las estaciones de carburación cuyas consecuencias van de 50 a 500 muertes, mientras que 10% de las estaciones de servicio pueden tener consecuencias de 50 a 250 muertes. Cabe aclarar que la mayoría de las estaciones con potencial catastrófico se localizan en el área urbana.

Tabla 74. Consecuencias por estaciones de servicio y carburación

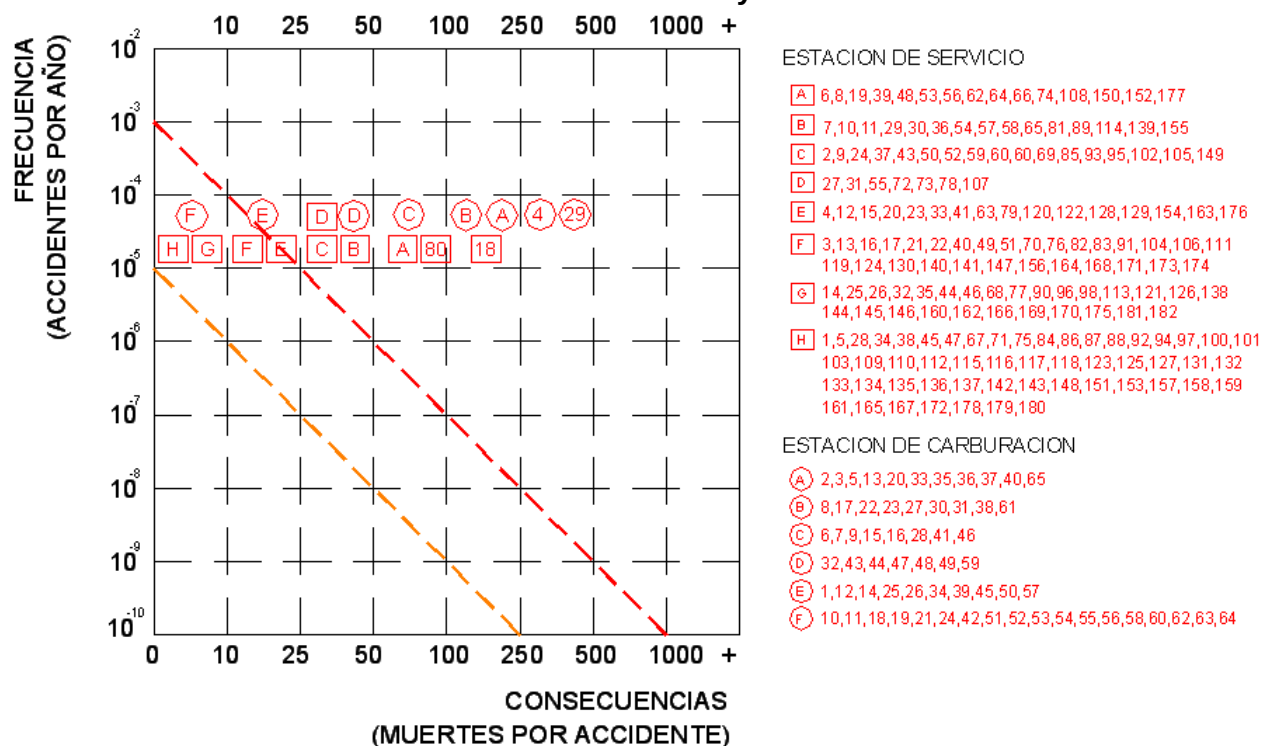
Consecuencia	Estaciones de servicio	Porcentaje	Estaciones de carburación	Porcentaje
0-10	77	43%	16	25%
10-25	49	27%	11	17%
25-50	38	21%	10	15%
50-100	16	9%	6	9%
100-250	1	1%	20	31%
250-500	0	0%	2	3%
500-1000	0	0%	0	0%
Total	181	100%	65	100%

Fuente: Elaboración propia.

La probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año en una instalación determinada ($P_{i,s}$) se estimó con la fórmula descrita en la sección anterior y como resultado se obtuvo que en las estaciones de carburación es más probable que ocurra un accidente mayor ($P_{i,s}=3 \times 10^{-4}$) que en las estaciones de servicio ($P_{i,s}=1 \times 10^{-5}$), aunque en ambos casos, de acuerdo con Cenapred (2006d) se trata de eventos raros o muy raros.

La asignación de valores a la matriz consecuencia-frecuencia (ver figura 88) permite observar, conforme a las líneas de aceptabilidad del riesgo, que 55 estaciones de servicio (30% de total) tienen un nivel de riesgo intolerable y por lo tanto resultan de prioridad 1, mientras que las 126 estaciones restantes (70% del total) representan un riesgo tolerable y con prioridad 2. Con respecto a las estaciones de carburación, 37 de ellas (57% del total) tienen un nivel de riesgo intolerable y por ello resultan de prioridad 1, mientras que las 28 estaciones restantes (43% del total) representan un riesgo tolerable y por lo tanto, de prioridad 2.

Figura 88. Matriz frecuencia-consecuencia para las estaciones de carburación y de servicio.¹²



Fuente: Elaboración propia

El nivel de riesgo de las estaciones varía entre la ciudad y el resto del municipio (valle y San Felipe), en la primera se concentran las instalaciones de prioridad 1, con 100% de las estaciones de servicio y 84% de las estaciones de carburación con nivel de riesgo intolerable. Por lo anterior, el monitoreo de las estaciones urbanas y el establecimiento de planes de prevención de accidentes resulta fundamental.

¹² Para conocer la relación de estaciones de carburación y de servicio (nombre y ubicación) consúltese el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

Tabla 75. Estaciones por tipo y nivel de aceptabilidad del riesgo.

ACEPTABILIDAD	ESTACION DE SERVICIO	ESTACION DE CARBURACIÓN	TOTAL
INTOLERABLE	55	37	92
TOLERABLE	126	28	154
ACEPTABLE	0	0	0
TOTAL	181	65	246

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Equipamiento expuesto

El traslape de información entre los radios de afectación de las estaciones de servicios y de carburación con respecto a la cartografía de equipamiento del INEGI, permite identificar el equipamiento expuesto a líquido y gas inflamables, lo cual se resume en la tabla 76, donde se observa que 6 elementos de equipamiento se encuentran expuestos a líquido inflamable, mientras que otros 10 se exponen a gas inflamable.

Conforme a la distribución municipal del equipamiento expuesto a líquido inflamable por proximidad a las estaciones de servicio se obtuvo que 50% es urbano y 50% es rural (localizado en Algodones, Nuevo León y Ciudad Coahuila). Mientras que del equipamiento expuesto a gas inflamable, 60% es urbano y 40% rural (localizado en los poblados Hermosillo y Alberto Oviedo Mota).

Tabla 76. Equipamiento expuesto a estaciones de servicios y de carburación.

EQUIPAMIENTO EXPUESTO	ESTACIÓN DE SERVICIOS	ESTACIÓN DE CARBURACION	TOTAL
Centro de asistencia médica	2	1	3
De gobierno	0	1	1
Escuela	2	2	4
Plaza o jardín	1	2	3
Templo	0	2	2
Mercado	1	2	3
Total	6	10	16

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Transporte de sustancias peligrosas

Los accidentes en el transporte terrestre de sustancias peligrosas son eventos que se consideran poco frecuentes; sin embargo, la liberación accidental de la sustancia es un incidente posible que puede impactar considerablemente al ambiente, a los bienes materiales y a las personas próximas al sitio del incidente (Cenapred, 2004a).

Las actividades productivas (industriales, comerciales y de servicios) utilizan gran diversidad de sustancias, y requieren de la movilización de materiales y residuos peligrosos diariamente y en grandes cantidades. Las sustancias se transportan por carretera, por ferrocarril y por barco; la selección del medio de transporte depende del estado físico de la sustancia, la cantidad a transportar, las vías de comunicación disponibles y los costos involucrados, entre otros factores.

El transporte y la distribución de materiales industriales por carretera representan más del 50% del uso de vehículos de autotransporte federal. Algunas de las sustancias peligrosas más transportadas son gas L.P., gas natural, diesel, combustóleo, gasóleo, turbosina, entre otras. Le siguen en importancia sustancias peligrosas como los ácidos (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido acético, entre otros), las bases (hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, etc.), y los compuestos inorgánicos (como el amoníaco y el hipoclorito de sodio). Las cantidades transportadas pueden ser muy variadas -desde algunos miles de litros hasta cantidades de 40,000 a 80,000 litros en cada unidad de transporte-. (Cenapred, 2006d).

En el municipio de Mexicali el transporte terrestre de sustancias peligrosas se lleva a cabo por las carreteras, las vialidades principales, el ferrocarril, así como por ductos y tuberías subterráneas. En esta sección se realiza el cálculo de consecuencias y probabilidades para las tres formas de transporte indicadas.

3.4.1. Carreteras y vialidades

El municipio de Mexicali se comunica con Estados Unidos por medio de tres garitas internacionales: Mexicali-Caléxico, Mexicali Este y Algodones-Andrade. La primera se ubica en el antiguo centro de la ciudad y presenta un intenso tráfico vehicular y de personas; la segunda garita se ubica al oriente de la ciudad y tiene un intenso movimiento de transporte de carga; la tercera garita se localiza en el poblado Algodones y tiene menor intensidad de flujo vehicular que las otras.

La conexión terrestre del municipio al resto del país y del estado de Baja California se lleva a cabo por la carretera Federal no. 2 en sus tramos Mexicali-San Luis Río Colorado y Mexicali-Tijuana. Por su parte, la carretera Federal no. 5 en su tramo Mexicali-San Felipe recorre de norte a sur el municipio y facilita el acceso a ciertos poblados del valle, aunque éste se interconecta mediante una red de carreteras estatales y de caminos locales.

La traza vial de la ciudad de Mexicali, se define como una gran retícula plana y regular, seccionada por algunas limitantes físicas como el antiguo cauce del Río Nuevo y la vía del ferrocarril, así como por la discontinuidad de la traza urbana desarrollada en diferentes etapas de crecimiento (IMIP, 2025). Esta estructura vial incentiva que gran parte de la movilidad de materiales y sustancias se lleve a cabo a través de las vialidades principales donde también se encuentran las zonas industriales.

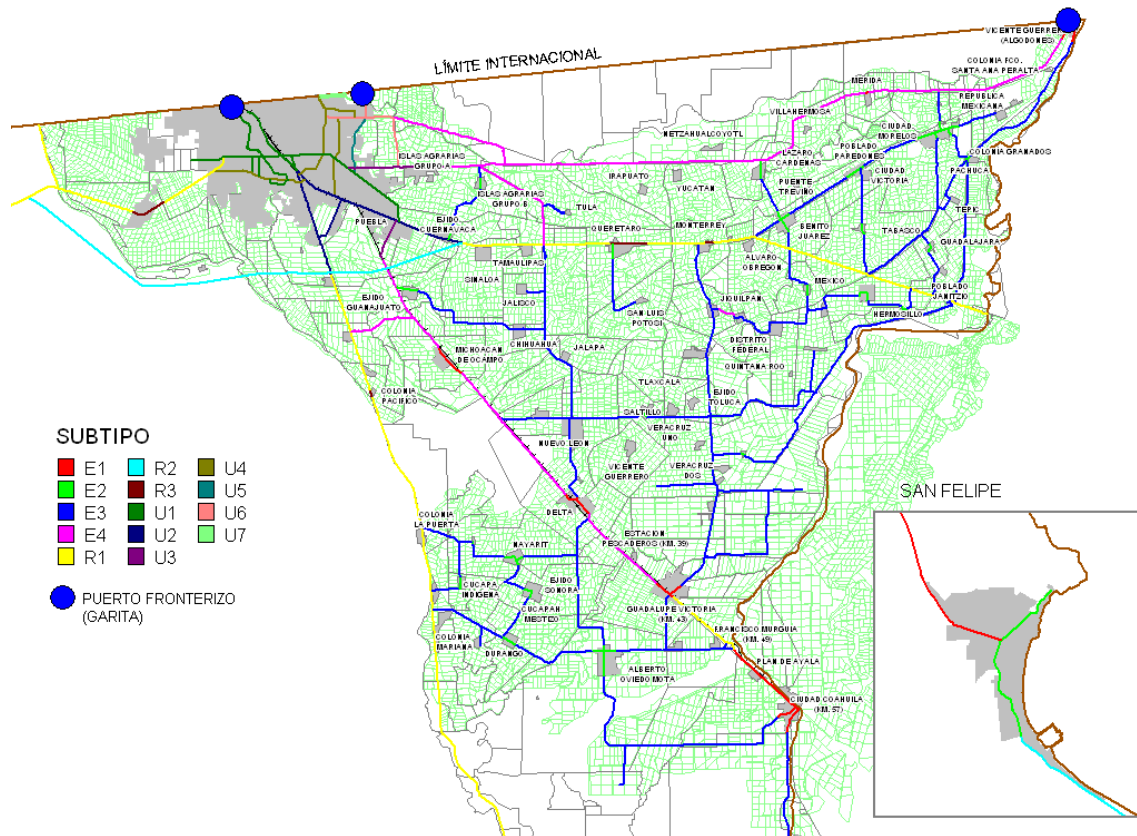
Para el análisis del transporte terrestre (por carreteras y vialidades urbanas) de sustancias peligrosas se seleccionaron las vialidades principales y secundarias que dan acceso a las instalaciones peligrosas, así como aquellas que permiten el movimiento de sustancias en el municipio y hacia el resto del estado y del país. Por el tipo de flujo, estas vías terrestres se clasificaron en urbana, estatal y regional, y para cada una de ellas se identificaron subtipos o tramos de vialidad basados en el uso de suelo, las densidades de tráfico y poblacional que cruzan (ver tabla 77).

Tabla 77. Tipos y subtipos de vialidades.

REGIONAL	R1	Carretera regional y estatal principal cruce con rancherías
	R2	Libramiento
	R3	Cruce con poblados
ESTATAL	E1	Principal cruce central poblados
	E2	Principal cruce lateral poblados
	E3	Local cruce poblados y rancherías
URBANA	U1	Zona habitacional de alta densidad
	U2	Zona industrial de alto trafico
	U3	Zona de conurbación o de expansión
	U4	Zona habitacional de densidad media
	U5	Zona industrial de mediano trafico
	U6	Zona habitacional de baja densidad
	U7	Zona industrial bajo trafico

Fuente: Elaboración propia.

Las carreteras regionales se clasificaron en tres tipos: El R1 lo integran los tramos carreteros Mexicali-Tijuana, Mexicali-San Felipe, Mexicali-San Luis Río Colorado y el tramo Guadalupe Victoria-Ciudad Coahuila en los segmentos donde cruzan rancherías o poblados de baja densidad habitacional; El R2 lo integran el libramiento a la Rosita y la carretera San Felipe-Puertecitos y; el tipo R3 lo conforman los segmentos carreteros al cruzar con los poblados del valle (Progreso, Querétaro, Monterrey y Pacífico).

Figura 89. Clasificación de vialidades y carreteras.

Fuente: Elaboración propia.

Las carreteras estatales se clasificaron en tres tipos: El tipo E1 donde la carretera estatal cruza al centro de los poblados del valle (Delta, Ciudad Coahuila, Guadalupe Victoria, Mérida, Algodones, Chetumal, Michoacán de Ocampo); el tipo E2 lo integran los segmentos de cruce lateral de los poblados del valle (Nayarit, Zakamoto, Cucapá Indígena, Sonora, Alberto Oviedo Mota, Durango, Pachuca, Lázaro Cárdenas, Paredones, Ciudad Morelos, Granados, Tabasco, Guadalajara, Mezquital, México, Hermosillo, Querétaro, Benito Juárez, Islas Agrarias B, Compuerta la 24, Cuernavaca, Guanajuato, Saltillo, Mar Caribe sur (San Felipe). El tipo E3 lo conforman la mayoría de los tramos carreteros del valle de flujo local (Delta-Oviedo Mota-Carranza-Ciudad Coahuila, Monterrey-Jiquilpan-Quintana Roo-Lázaro Cárdenas-Guadalupe Victoria, Hidalgo-Nuevo León-Saltillo, entre otros).

Las vialidades urbanas se clasificaron en siete tipos: en el tipo U1 se encuentran los bulevares de los Presidentes (Río Nuevo), Vicente Lombardo Toledano, Benito Juárez, Xochimilco, Anáhuac, Adolfo López Mateos y Lázaro Cárdenas que cruzan zonas de alta densidad habitacional. En el tipo 2 se encuentran los tramos que comprenden las salidas a las carreteras a San Felipe y San Luis Río Colorado y la vialidad González Ortega que conecta a ambos tramos. En el tipo U3 se encuentran la carretera a Islas Agrarias y el acceso al ex ejido Puebla. El tipo U4 son las vialidades Ignacio Otero y Central sur, el periférico oriente (Manuel Gómez Morín) y la calzada Héctor Terán Terán (Carretera Unión). El tipo U5 lo integra la calle Novena. En el tipo U6 se encuentra la calzada Cetys, la sección sur de Abelardo L. Rodríguez y la carretera Abasolo-Islas Agrarias. El tipo U7 lo integran la vialidad República de Brasil y la porción norte del Abelardo L. Rodríguez.

3.4.1.1. Estimación de consecuencias

Las sustancias peligrosas que se transportan por carretera o vialidades principales son aquellas que forman parte de los procesos industriales y de las actividades comerciales y de servicios instaladas en el municipio, entre estas sustancias se encuentran las siguientes: líquido tóxico (ácido nítrico), gas tóxico (amoniaco y cloro), gas inflamable (gas L.P.) y líquido inflamable (gasolina).

El amoniaco, el gas L.P. y la gasolina se transportan en la ciudad, el valle y Caléxico, por las vialidades urbanas principales y la red de carreteras estatales y regionales hacia las distintas instalaciones de distribución localizadas en todo el municipio. Mientras que el cloro se transporta (en la ciudad y el valle) generalmente por las vías principales hacia las plantas potabilizadoras. En cambio el ácido nítrico se distribuye sólo en algunas zonas industriales de la ciudad. Por lo anterior cada sustancia peligrosa implica la evaluación de tramos viales específicos.

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en el transporte vial de las sustancias peligrosas ($C_{a,s}$), se realizó con la fórmula descrita en secciones anteriores. El resultado se resume en la tabla 78 donde se observa el potencial catastrófico del transporte del Gas L.P. con 35% de los tramos evaluados con consecuencias mayores a 100 muertes por incidente. En segundo lugar se encuentra el transporte de ácido nítrico con 11% de los tramos evaluados con consecuencias graves, aunque el transporte de esta sustancia se limita a algunas vialidades urbanas. En tercer lugar se encuentra el transporte de cloro con 3% de los tramos con esta característica, posteriormente el transporte de gasolina con consecuencias menores a este rango y finalmente el transporte amoniaco donde las consecuencias son menores a 25 muertes.

Tabla 78. Consecuencias por sustancia peligrosa transportada por tramo vial.

CONSECUENCIA	GAS L.P.	AMONIACO	GASOLINA	CLORO	ÁCIDO NÍTRICO
0-10	69	140	96	50	6
10-25	9	8	34	17	2
25-50	1	0	7	20	4
50-100	17	0	11	7	4
100-250	41	0	0	3	2
250-500	11	0	0	0	0
500-1000	0	0	0	0	0
Total	148	148	148	97	18

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2. Probabilidad de incidentes mayores

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año durante el transporte vial de una sustancia peligrosa determinada ($P_{t,s}$) se obtuvo en relación al número de probabilidad $N_{t,s} = |\log P_{t,s}|$ y este último con la siguiente fórmula tomada de IAEA (1996):

$$N_{t,s} = N_{i,s}^* + n_c + n_{td} + n_p$$

Para obtener el número de probabilidad ($N_{t,s}$) se realiza la suma de la probabilidad promedio para el tramo vial por sustancia transportada, y los números de corrección de la probabilidad, por condiciones de seguridad en el sistema de transporte (n_c), por densidad de tráfico (n_{td}) y por la dirección del viento hacia zonas pobladas (n_p).

Para la mayoría de los tramos viales evaluados, en el transporte de las sustancias peligrosas la probabilidad de que se lleve a cabo un incidente mayor es un acontecimiento raro o muy raro, sin embargo, como puede observarse en la tabla 79, para algunas sustancias -pese a su nivel bajo de consecuencias- resulta más probable ser liberadas por algún incidente en el transporte que para otras, como sucede con la gasolina.

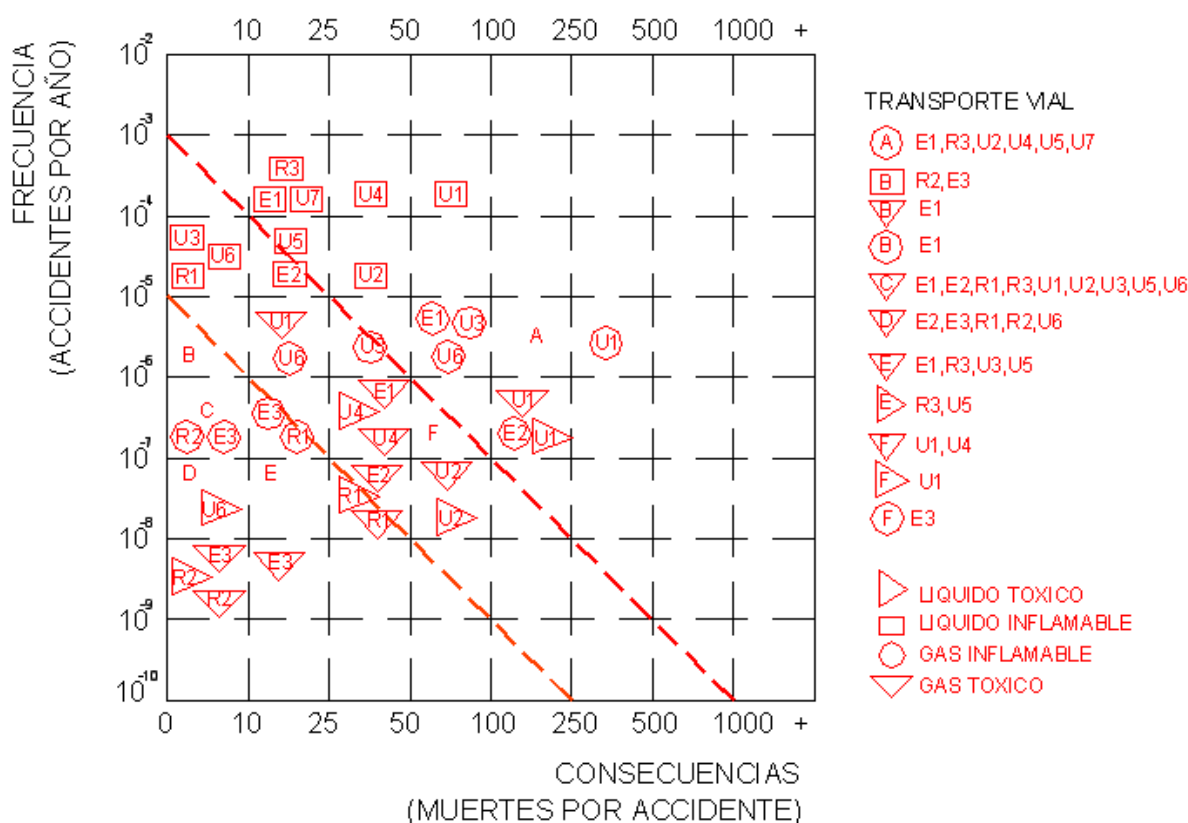
Tabla 79. Número de tramos por probabilidad de accidente y sustancia transportada.

PROBABILIDAD	GAS L.P.	AMONIACO	GASOLINA	CLORO	ÁCIDO NÍTRICO	TOTAL
1x10-4	0	0	23	0	0	23
3x10-4	0	0	27	0	0	27
1x10-5	0	0	26	0	0	26
3x10-5	0	0	72	0	0	72
1x10-6	50	20	0	0	0	70
3x10-6	0	12	0	0	0	12
1x10-7	98	43	0	12	4	157
3x10-7	0	15	0	11	9	35
1x10-8	0	58	0	30	4	92
3x10-8	0	0	0	13	0	13
1x10-9	0	0	0	31	1	32
TOTAL	148	148	148	97	18	559

Fuente: Elaboración propia.

El traslado de los datos a la matriz consecuencia-frecuencia permite identificar el nivel de aceptabilidad del riesgo del transporte vial de sustancias peligrosas, como se muestra en la figura 90, en donde se aprecia que en el transporte de líquido inflamable, las vialidades urbanas U1,U2,U4 y U7 representan un riesgo intolerable, al igual que sucede con el transporte de gas inflamable en las vialidades tipo E1,E2,R3,U1,U2,U3,U4,U5,U6,U7 y el transporte de líquido tóxico por las vialidades tipo U1, y de gas tóxico en las tipo U1. En conjunto estos segmentos viales deben ser considerados como prioridad 1 en materia de gestión de riesgos.

Figura 90. Matriz frecuencia-consecuencia para los tramos viales¹³



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Equipamiento expuesto

El cruce de información entre los radios de afectación en el transporte de sustancias peligrosas y el equipamiento registrado por el INEGI dio como resultado la identificación del equipamiento expuesto por sustancia. Esto se resume en la tabla 80 donde se observa que del total del equipamiento expuesto 62% se debe al transporte de gas tóxico (39% a cloro y 23% a amoníaco), 19% a líquido tóxico, 13% a gas inflamable y 6% a líquido inflamable.

La proporción del equipamiento expuesto es diferente en la ciudad y el resto del municipio dependiendo de la sustancia, por ejemplo, 100% del equipamiento expuesto a ácido nítrico se encuentra localizado en la ciudad. Mientras que 60% del equipamiento expuesto a cloro es

¹³ La relación de tramos viales, radios de afectación y la clasificación de los tipos y subtipos, consulte el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

urbano y 40% se distribuye en las principales localidades del valle y San Felipe. En el caso del amoniaco el equipamiento expuesto es tanto urbano como rural, con 54% del equipamiento en la ciudad y el 46% restante distribuido en las siguientes localidades: Algodones, Ciudad Morelos, Paredones, Benito Juárez, Hermosillo, Michoacán de Ocampo, Nuevo León, Delta, Guadalupe Victoria, Oviedo Mota, Ciudad Coahuila y Cuernavaca.

En una situación contraria, la gasolina y el gas L.P. incluyen un porcentaje mayor (57% y 55% respectivamente) de equipamiento rural expuesto a estas sustancias, distribuidos en las doce localidades señaladas anteriormente.

Tabla 80. Equipamiento expuesto en el transporte vial de sustancias peligrosas

EQUIPAMIENTO	COLORO	GAS L.P.	GASOLINA	ACIDO NITRICO	AMONIACO	TOTAL
CEMENTERIO	6	4	1	3	6	20
CENTRAL DE AUTOBUSES	0	0	0	0	0	0
CENTRO DE ASISTENCIA MÉDICA	48	26	14	14	36	138
ESCUELA	215	50	14	119	97	495
INSTALACIÓN DEPORTIVA O RECREATIVA	55	12	3	25	37	132
MERCADO	38	21	12	15	29	115
MUSEO	0	0	0	0	1	1
PALACIO DE GOBIERNO	19	13	7	7	13	59
PLAZA DE TOROS	0	0	0	0	0	0
PLAZA O JARDIN	48	18	8	25	40	139
RECLUSORIO	0	0	3	0	1	4
TEMPLO	105	31	15	58	55	264
TOTAL	534	175	77	266	315	1367

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Transporte en ferrocarril

El ferrocarril ha sido por muchos años un medio de transporte masivo de materiales, mercancías y pasajeros en trayectos de larga distancia o carga de gran volumen y peso. Los ferrocarriles tienen dos tipos de operación: de arrastre (foránea) y de patio (o cambio) que hacen su recorrido dentro de un área delimitada (ICARI, 1999). Las locomotoras de arrastre generalmente viajan entre localidades distantes, desde una ciudad a otra (incluyendo el servicio de carga intermodal, el servicio de carga mixto y el transporte de pasajeros).

Mexicali se conecta con el resto del país a través de la línea ferroviaria que va a Benjamín Hill, Sonora y hacia Estados Unidos de Norteamérica cruzando por el centro de la ciudad hasta la línea internacional. Actualmente el movimiento del ferrocarril es para carga, pues durante 1996 se dejó de prestar el servicio de pasajeros (ICAR, 1999). El ferrocarril realiza un viaje de ida y vuelta a la ciudad de Caléxico, California para el intercambio de vagones de carga hacia ambos países y en lo que respecta a la comunicación hacia el interior del país, se realiza un viaje cada tercer día (IMIP, 2025).

En el área de Mexicali se tienen 4 locomotoras de patio que dan el servicio de entrega y recepción de carga a las empresas que se encuentran establecidas en las cercanías de la vía

principal, las cuales cuentan con espuelas de acceso a sus instalaciones. Los principales productos manejados son: chatarra, aceites comestibles, cemento, gas, fertilizantes y semillas (ICARI, 1999).

Para la estimación de consecuencias y frecuencias de accidentes mayores en el transporte de sustancias peligrosas por ferrocarril se realizó la clasificación de los segmentos de ferrovía con base en el uso de suelo que recorre y la densidad poblacional, resultando en los 4 tipos de tramos que se muestran en la tabla 81.

Tabla 81. Clasificación de los tramos de ferrocarril.

URBANA	F1	Zona habitacional de alta densidad
	F2	Zona industrial de alto trafico
	F3	Zona de conurbación y cruce con poblados
	F4	Cruce con rancherías

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1. Cálculo de consecuencias y probabilidades de incidentes mayores

El cálculo de las posibles consecuencias o muertes por un accidente en el transporte ferroviario de las sustancias peligrosas ($C_{a,s}$), se realizó con la fórmula descrita en la sección anterior y se aplicó en el cálculo de tres tipos de sustancias, gas tóxico (amoniaco y cloro), gas inflamable (gas L.P.) y líquido tóxico (ácido nítrico) en los segmentos identificados.

Como resultado se obtuvo la tabla 82 donde se aprecia el potencial catastrófico del transporte del gas L.P. con 250 o más muertes en el 56% de los tramos evaluados. Este porcentaje se repite en el ácido nítrico para 100 o más muertes. En cambio, el amoniaco y cloro tienen un comportamiento similar con 25% de los tramos con consecuencias de 100 a 250 muertes.

Tabla 82. Consecuencias por tramos de ferrovía en el transporte de sustancias peligrosas.

CONSECUENCIA	GAS L.P.	AMONIACO	CLORO	ÁCIDO NÍTRICO
0-10	5	7	7	5
10-25	0	0	0	2
25-50	2	2	2	0
50-100	0	3	3	0
100-250	0	4	4	5
250-500	2	0	0	4
500-1000	3	0	0	0
MAS DE 1000	4	0	0	0
TOTAL	16	16	16	16

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año durante el transporte ferroviario de una sustancia peligrosa determinada ($P_{t,s}$) se obtuvo con la fórmula utilizada para el transporte vial de sustancias y, para todas ellas, resultaron dos valores que reflejan incidentes muy raros con probabilidades muy bajas de ocurrir (ver tabla 83).

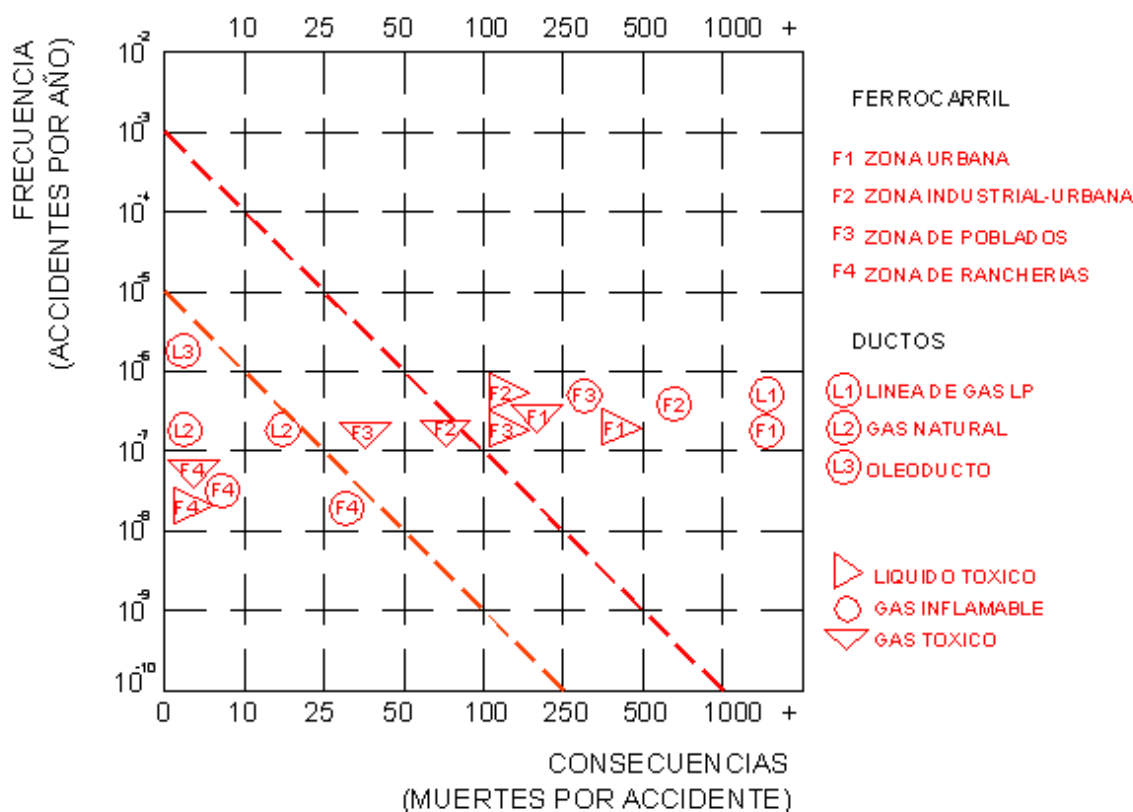
Tabla 83. Número de tramos por probabilidad de incidente mayor en un año.

PROBABILIDAD	NUMERO DE TRAMOS	TIPO
1×10^{-7}	9	F1, F2, F4
1×10^{-8}	7	F3, F4

Fuente: Elaboración propia.

La posición de los datos en la matriz consecuencia-frecuencia (ver figura 91) permite observar el nivel de aceptabilidad del riesgo resultante del transporte de sustancias en los distintos segmentos del ferrocarril. El transporte ferroviario de gas inflamable y de líquido tóxico resultan intolerables en casi todos los tramos (F1,F2,F3), mientras que el transporte de gas tóxico es intolerable para el tramo F1 que cruza la ciudad, por lo que los casos anteriores deben ser atendidos como prioridad 1 en materia de gestión y disminución del riesgo. El transporte de gas tóxico en los segmentos F2 y F3 resulta tolerable por lo que estos segmentos deben ser asumidos como prioridad 2, mientras que el resto de los segmentos representan un riesgo aceptable de prioridad 3.

Figura 91. Matriz frecuencia-consecuencia para los tramos viales¹⁴



Fuente: Elaboración propia

¹⁴ La relación e información sobre los tramos ferroviarios y los ductos para el transporte de sustancias peligrosas se encuentra disponible en el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

3.4.2.2. Equipamiento expuesto

El traslape de información de la distancia de afectación con la capa de equipamiento del INEGI permitió detectar el equipamiento expuesto a las sustancias peligrosas que se transportan por ferrocarril. En conjunto 624 elementos de equipamiento se encuentran en las distancias de afectación de las sustancias transportadas. De ellos el 34% son escuelas, 11% equipamiento de salud, 10% instalación deportiva o recreativa, entre otras. Con respecto a las sustancias transportadas, 45% del equipamiento está expuesto a líquido tóxico, 46% (23% amoníaco y 23% cloro) a gas tóxico y 9% a gas inflamable.

A diferencia del transporte por vialidades, en el transporte por ferrocarril, la proporción del equipamiento expuesto en la ciudad y el resto del municipio son similares, con excepción del equipamiento expuesto a líquido tóxico del cual la ciudad concentra el 61%.

Tabla 84. Equipamiento expuesto en el transporte de sustancias peligrosas por ferrocarril.

EQUIPAMIENTO	CLORO	GAS L.P.	ACIDO NITRICO	AMONIACO	TOTAL
CEMENTERIO	3	2	6	3	14
CENTRAL DE AUTOBUSES	1	0	3	1	5
CENTRO DE ASISTENCIA MÉDICA	17	4	28	17	66
ESCUELA	46	18	105	46	215
INSTALACIÓN DEPORTIVA O RECREATIVA	15	6	25	15	61
MERCADO	20	11	32	20	83
MUSEO	1	1	1	1	4
PALACIO DE GOBIERNO	4	3	10	4	21
PLAZA O JARDIN	11	6	19	11	47
RECLUSORIO	1	1	1	1	4
TEMPLO	22	7	53	22	104
TOTAL	141	59	283	141	624

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Tuberías o ductos

La liberación a la atmósfera de las sustancias transportadas a través de ductos o tuberías puede amenazar de manera inmediata a las personas que viven o se encuentran próximas al lugar de la fuga, aunque el material liberado puede filtrarse al subsuelo y acumularse en él incrementando el área de peligro y la intensidad de cualquier evento al mediano y largo plazo.

El grado de peligro se define en función de las características de las sustancias transportadas, del diámetro de la tubería, de la presión a la cual se encuentran en el interior de la tubería y de las condiciones en que son liberadas. Por ejemplo, el gas natural cuyo principal constituyente es el metano, puede crear una nube inflamable cuando se mezcla con el aire; si una cantidad considerable de gas natural es liberado a la atmósfera, éste puede incendiarse o provocar una explosión cuando se encuentre en concentraciones dentro del intervalo de explosividad de la sustancia (Cenapred, 2004a:254).

Cenapred (2006d) identifica las fallas más comunes en las tuberías (antes y durante la distribución de sustancias) que pueden desatar incidentes como lo son los defectos en el

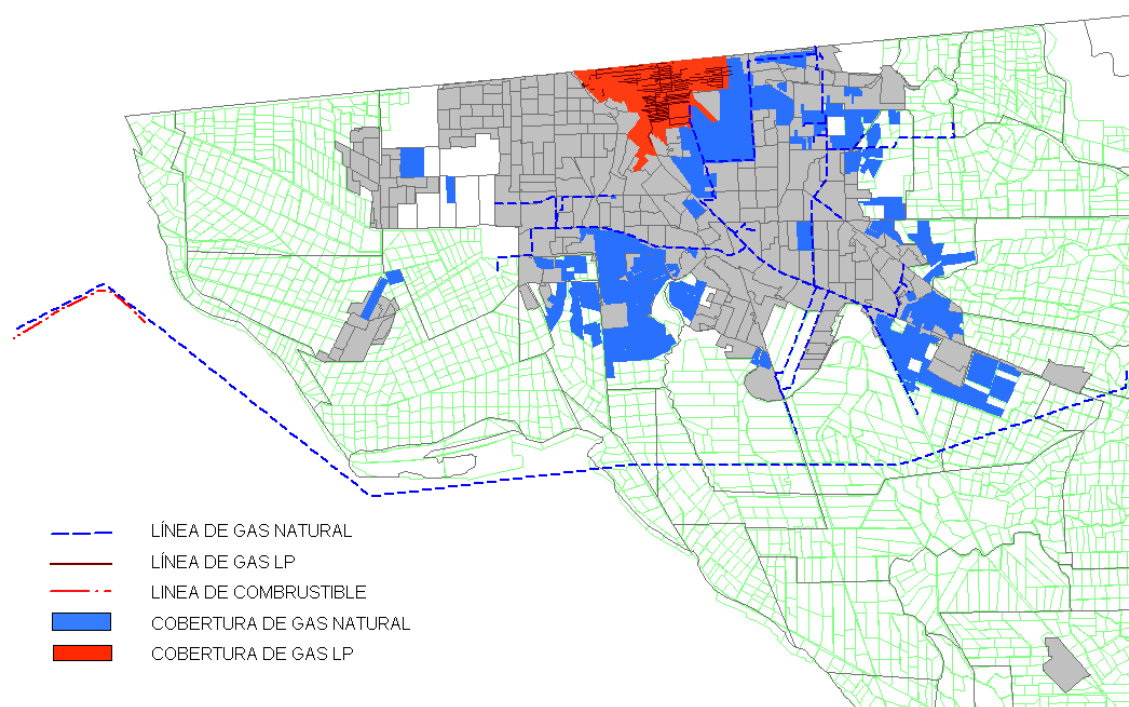
cuerpo de la tubería, en la soldadura longitudinal, en la soldadura de campo, en la operación, en accesorios y algunas causas especiales como la combustión interna, el sabotaje y las cargas adicionales por el movimiento del terreno, particularmente ésta última debe ser considerada en el caso de Mexicali.

En el municipio de Mexicali las sustancias peligrosas que se transportan o distribuyen por ductos o tuberías son el gas L.P., el gas natural y la gasolina. El objetivo de tener estos ductos es abastecer principalmente a la ciudad y en su trayectoria cruzan algunas zonas del valle, generalmente despobladas o de baja densidad habitacional. Por tal motivo, el riesgo derivado de ductos y tuberías de distribución de sustancias es eminentemente urbano.

El municipio se abastece de gasolina por medio del poliducto Rosarito-Mexicali. Este oleoducto tiene una longitud total de 147.6 km, es de tubería de acero al carbón y se compone de cuatro tramos: El primero de 10 pulgadas de diámetro y 109.4 km de longitud; el segundo de 8 pulgadas de diámetro y 4.8 km de longitud; el tercero de 10 pulgadas de diámetro y 5.7 km de longitud; y el cuarto de 8 pulgadas de diámetro y 27.7 km de longitud. El oleoducto alimenta a la TAR de Pemex localizada en el libramiento la Rosita próxima al entronque con la carretera Mexicali-Tijuana. Desde esta planta, el combustible se distribuye en vehículos carro-tanque a las estaciones de servicio en la ciudad, el valle y el puerto de San Felipe.

Para abastecer a las plantas termoeléctricas localizadas al poniente de la ciudad, se cuenta con el gasoducto de transporte de gas natural Baja Norte en línea Acero X-70 de 30 pulgadas de diámetro, el cual es administrado por la empresa Sempra Energy México. Este gasoducto ingresa de Estados Unidos a México por el poblado Algodones y cruza transversalmente el municipio hacia el oeste con una trayectoria paralela a la carretera estatal 8, luego sigue la carretera estatal 1 hasta llegar a la intersección con la carretera federal 2. Desde este punto el gasoducto sigue el trazo del libramiento, llega a las plantas termoeléctricas (a las cuales suministra gas natural) y continúa al poniente de manera paralela a la carretera Mexicali-Tijuana, continúa hasta terminar en El Florido en Tijuana. Este gasoducto cuenta con un derecho de vía de 10 metros.

En la ciudad de Mexicali, dos empresas se encargan del suministro de gas a zonas habitacionales, comerciales e industriales. Para tal fin, cuentan con una trama de tuberías de acero de diámetros que van de 4 a 16 pulgadas. Las empresas a cargo de este servicio son Gas Butano Propano de Baja California y Ecogas; la primera distribuye gas L.P. a viviendas y comercios localizados en la zona más antigua de la ciudad, mientras que la segunda se encarga de la distribución de gas natural al sector industrial, comercial y habitacional, particularmente en los nuevos fraccionamientos urbanos (ver figura 92).

Figura 92. Distribución de ductos y coberturas.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.1. Cálculo de consecuencias y probabilidades de incidentes mayores

Por el volumen y el material transportado, los ductos que distribuyen el gas L.P. en el área urbana fueron clasificados como líneas tipo L1 con distancias de afectación de 200 metros. Por su parte, los ductos de gas natural de suministro urbano o regional fueron clasificados como líneas tipo L2 con una distancia de afectación de 25 metros. Esta misma distancia funciona para el oleoducto de Pemex clasificado como línea tipo L3 (ver tabla 85).

Tabla 85. Tipos de ductos que distribuyen sustancias peligrosas.

DUCTO	USO DE LA RED	OPERADOR	DISTANCIA DE AFECTACIÓN	CONSECUENCIAS
L1	Distribución de gas L.P. a zonas urbanas	Gas Butano Propano de B.C.	200	0-10
L2A	Distribución de gas natural a zonas urbanas	Ecogas	25	10-25
L2B	Distribución de gas natural a termoeléctricas y a la ciudad de Tijuana	Sempra Energy	25	0-10
L3	Distribución de combustible a la TAR Mexicali	Pemex	25	500-1000

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de las consecuencias o muertes por un accidente en la distribución de sustancias peligrosas por ductos o tuberías ($C_{a,s}$), se realizó con la fórmula descrita en la sección anterior y de su aplicación se obtuvo la tabla 85, donde se hace evidente el potencial catastrófico de los

ductos de distribución de gas L.P. en la ciudad con consecuencias de 500 a 1000 muertes por incidente, mientras que en el resto de las sustancias transportadas, las consecuencias son considerablemente menores.

La estimación de la probabilidad de que ocurra un incidente mayor en un año durante la distribución por ductos o tuberías de una sustancia peligrosa determinada ($P_{t,s}$) se realizó con la fórmula empleada en la sección anterior (eliminando el factor de intensidad de tráfico). Como resultado se obtuvieron las probabilidades para la distribución de gas L.P. ($P_{t,s}=1 \times 10^{-6}$) de gas natural y de combustible ($P_{t,s}=1 \times 10^{-7}$). Estos datos muestran que si bien, la probabilidad de que ocurra un accidente en un año en cualquiera de los ductos es un suceso muy raro, es más probable que ocurra durante la distribución de gas L.P.

La ubicación de los datos en la matriz frecuencia-consecuencia se presenta en la figura 91 de la sección anterior, donde se observa que los ductos tipo L1 tienen un nivel de riesgo inaceptable y por lo tanto deben ser asumidos como prioridad 1, mientras que el resto de los ductos tienen un nivel de riesgo aceptable, no sólo porque la sustancia involucrada tiene una menor distancia de afectación, sino porque estos ductos cruzan zonas despobladas del municipio.

Tabla 86. Nivel de aceptabilidad de ductos de distribución de sustancias peligrosas.

DUCTO	USO DE LA RED	PRIORIDAD
L1	Intolerable	Prioridad 1
L2A, L2B, L3	Aceptable	Prioridad 2

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2. Equipamiento expuesto

La superposición de las distancias de afectación de los ductos y la cartografía o capa del equipamiento del INEGI permitió identificar 14 elementos expuestos, de los cuales en primer lugar se encuentran los templos (36%), en segundo lugar las escuelas y plazas con 21% cada uno de ellos y 7% mercados.

Tabla 87. Elementos de equipamiento expuesto por ductos.

EQUIPAMIENTO	GAS L.P.	GAS NATURAL	TOTAL
CENTRO DE ASISTENCIA MÉDICA	2	0	2
ESCUELA	2	1	3
MERCADO	0	1	1
PLAZA O JARDIN	1	2	3
TEMPLO	3	2	5
TOTAL	8	6	14

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Capacidad de prevención y respuesta

En la sección de vulnerabilidad social del presente documento se muestra la evaluación de la capacidad de prevención y respuesta municipal en general, la cual resultó muy alta para hacer frente a los peligros y prevenir desastres. Aunado a lo anterior, en el caso del riesgo químico-tecnológico, algunos elementos adicionales fueron obtenidos a partir de un cuestionario que se aplicó al H. Cuerpo de Bomberos encontrándose un nivel de preparación alto para hacer frente a las emergencias químicas.

La preparación para emergencias químicas en Mexicali se originó a partir de 1983 y ha evolucionado con el tiempo, desde un primer plan elaborado por Bomberos para definir las actividades que deben llevarse a cabo para proteger la vida humana y el ambiente, hasta la adquisición de equipo especializado (unidades de materiales peligrosos o hazmat) y el entrenamiento del personal hasta contar con 30 elementos de primer nivel y 12 de nivel técnico.

La colindancia de la ciudad de Mexicali con la ciudad de Caléxico, California, convierte a los eventos químicos en un tema de interés, no sólo para las autoridades locales, sino de trascendencia binacional, por tal motivo, se han realizado diversos esfuerzos de coordinación para la cooperación, capacitación e intercambio de información entre autoridades de ambas ciudades y países. Los cuales se han materializado en convenios de apoyo mutuo permitiendo el libre tránsito de bomberos y de equipo especializado para atención a emergencias entre ambas ciudades.

Adicionalmente, en el marco del Programa frontera 2012¹⁵, se han llevado a cabo reuniones de trabajo donde se ha abordado el tema de la capacidad binacional de respuesta a las emergencias químicas y se ha acordado realizar esfuerzos de notificación binacional y desarrollar un plan binacional de contingencias y emergencias.

El municipio está preparado para este tipo de emergencias, sin embargo, el continuo crecimiento urbano e industrial, modifican constantemente las condiciones previstas, al punto que representan un reto constante a la seguridad de la población. Por ello, la necesidad de aumentar la capacidad para la atención a emergencias, a través del adiestramiento especializado de los elementos existentes y la incorporación de nuevos elementos, así como, la adquisición de equipamiento general y especializado para este tipo de emergencias, resulta prioritario.

3.6. Percepción del riesgo químico-tecnológico

A diferencia de otros peligros, los químicos o químico-tecnológicos tienden a ser escasamente evidentes para las comunidades expuestas a ellos. Esto sucede, en cierta forma, porque no existe un conocimiento comunitario de las acciones de transporte, almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas que se llevan a cabo en el municipio. Sin embargo, cuando la peligrosidad de ciertas actividades se hace evidente a través de un incidente (explosión, fuga de sustancia, entre otros) que afecta a la comunidad, ésta adquiere conocimiento de la peligrosidad del entorno y actúa en consecuencia, sea a través de manifestaciones de inconformidad por la presencia de actividades peligrosas, o bien, se informa y está atenta de cualquier indicio de peligro, y participa con más convicción en los operativos de las autoridades (p. ej. en las evacuaciones).

¹⁵ Firmado en abril del 2003 para proteger el ambiente y la salud en la frontera México-Estados Unidos.

En el municipio de Mexicali, a pesar de que los incendios ocurren con frecuencia, la población tiene un nivel de percepción bajo de este peligro, mientras que el resto de los peligros químicos (explosiones, fugas y derrames de sustancias y radiación) presentan niveles muy bajos. La identificación de peligros químicos en el valle y el puerto de San Felipe es ligeramente mayor en el caso de las explosiones, las fugas y los derrames de sustancias con respecto a la ciudad (ver tabla 88).

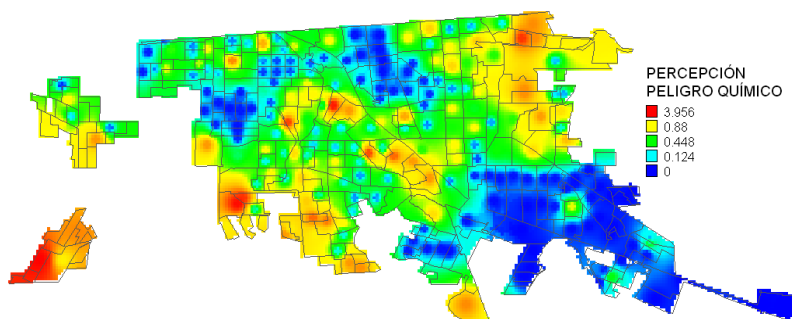
Tabla 88. Peligros químicos identificados.

Peligro identificado	Ciudad		Valle y San Felipe	
	No	Sí	No	Sí
Incendios	68%	32%	65%	35%
Explosiones	90%	10%	85%	15%
Fugas y derrames de sustancias peligrosas	93%	7%	86%	14%
Radiación	96%	4%	96%	4%

Fuente: Elaboración propia.

La identificación de los peligros químicos se muestra diferenciada en la ciudad, donde un mayor número de peligros de este tipo se perciben en la zona suroeste y noreste. Mientras que en la zona sureste, donde se encuentra asentada gran número de instalaciones industriales y donde ha ocurrido un número importante de incidentes con sustancias peligrosas, presenta un nivel de percepción muy bajo.

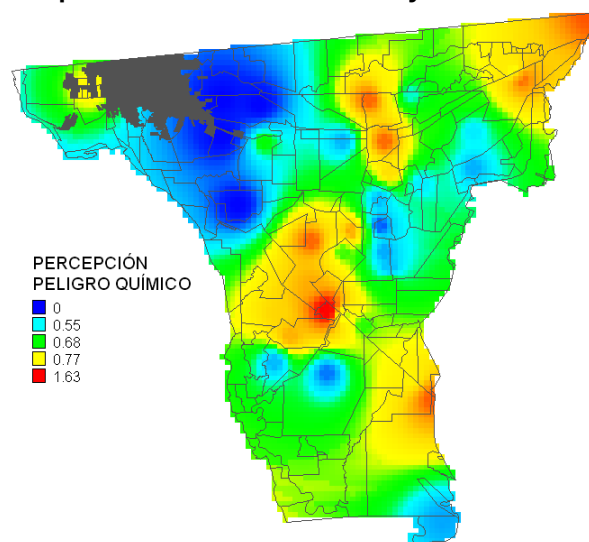
Figura 93. Interpolación de peligros químicos identificados por los habitantes de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

En el valle de Mexicali y puerto de San Felipe los habitantes de la zona próxima a Cerro Prieto, de Algodones y de ciudad Coahuila, en San Felipe identificaron un mayor número de peligros químicos que el resto del valle. En cambio, en la zona próxima a la ciudad, donde se asientan algunas industrias que han tenido incidentes con sustancias químicas, identificaron pocos o ningún peligro químico en el lugar donde habitan.

Figura 94. Interpolación de los peligros químicos identificados por los habitantes del valle y Caléxico.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación de riesgos se sugieren a partir de los dos elementos que los constituyen, el peligro y la vulnerabilidad local. Si bien los peligros químico-tecnológicos han sido ampliamente estudiados e incluso existen leyes y reglamentos que pretenden controlar las actividades de alto riesgo, la libre distribución de estas actividades en el territorio frente al crecimiento urbano ilimitado, aproximan el peligro químico a las zonas habitacionales y con ello se incrementa la posibilidad del desastre.

De manera general es necesario incrementar el nivel de conocimiento de los peligros químico-tecnológicos municipales, tanto en el ámbito técnico-científico como en la comunidad expuesta a ellos. En el primer caso se requiere realizar estudios y modelaciones de escenarios de la liberación incidental de sustancias peligrosas al ambiente, mejorar el monitoreo de las vías ambientales por las cuales se transportan las sustancias y entran en contacto con la población; mientras que en el segundo caso, se requiere de un programa eficiente y permanente de comunicación del riesgo, con especial énfasis en la población directamente expuesta.

Adicionalmente es conveniente incrementar la capacidad de respuesta local mediante la capacitación del personal en el manejo de programas de cómputo para la simulación de escenarios químicos, la dotación de equipo y recursos necesarios para la cobertura municipal de las acciones de la Unidad de Protección Civil y del H. Cuerpo de Bomberos. Pero sobre todo, es necesario incluir la mitigación de riesgos en la planeación del desarrollo urbano-regional desde una perspectiva territorial que derive en estrategias de ocupación y administración del suelo que eviten el aumento de la población expuesta y la conversión de un peligro en desastre.

Para la identificación precisa de las localidades, instalaciones y población expuesta, se recomienda consultar el sistema de información geográfica que acompaña al presente atlas.

Tabla 89. Medidas de prevención y mitigación de riesgos químico-tecnológicos.

TEMA	LOCALIZACIÓN	CONDICIÓN INSEGURA	POSIBLES EFECTOS	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN
PLANEACIÓN TERRITORIAL	Municipio	Procesos de planeación y gestión territorial deficientes: Bajo control de la localización de las empresas y del crecimiento de los asentamientos humanos hacia zonas peligrosas.	Exposición de un mayor número de familias a los peligros químico-tecnológicos.	A través de la planeación y gestión del suelo controlar y evitar el crecimiento urbano y los asentamientos humanos hacia las zonas de exposición a peligros químicos (instalaciones peligrosas), así como la incompatibilidad de los usos de suelo.
				Incorporar en los planes de desarrollo urbano-regional estrategias concretas en materia de mitigación de riesgos.
				Identificar y establecer zonas seguras de amortiguamiento con respecto a las instalaciones peligrosas.
				Capacitación de los encargados de la planeación territorial en materia de mitigación de riesgos desde el enfoque territorial.
CONTROL DEL PELIGRO	Municipio (especialmente en la ciudad)	Desconocimiento de la cantidad y tipo de sustancias peligrosas almacenadas o manejadas en las actividades comerciales e industriales. Por inventario incompleto de instalaciones de alto riesgo en el municipio.	Seguimiento deficiente de las actividades peligrosas, desconocimiento de los posibles tipos y niveles de emergencia, preparación limitada para hacerles frente. Incremento en pérdidas materiales y humanas	Realizar el inventario espacial completo y monitoreo permanente de las actividades de alto riesgo.
				Realizar simulaciones para identificar los peores escenarios en caso de emergencia.
				Control de empresas de tipo crónico (con bajas consecuencias pero de gran frecuencia de incidentes).
				Realizar el inventario de rutas de transporte de sustancias (tipo, cantidad, frecuencia).
CAPACIDAD DE RESPUESTA	Municipio	Capacidad de respuesta rebasada por situaciones multipeligro y grandes eventos.	Incremento en pérdidas materiales y humanas	Programa de inspección permanente de las condiciones de seguridad de las empresas que manejan sustancias peligrosas. Programas de prevención de accidentes en empresas de niveles de prioridad 1 y del resto.
				Mejorar e incrementar el equipo de emergencias químicas (<i>Hazmat</i>), así como descentralizar a medida de lo posible la atención de emergencias.
				Capacitar permanentemente los elementos de Bomberos y Protección Civil en atención de emergencias químicas, pero también en toma de decisiones y generación de información para tal fin.
PERCEPCIÓN	Municipio	Bajo nivel de conocimiento de la comunidad sobre qué hacer y a quién acudir en caso de emergencia.	Incrementa el impacto de los peligros, el número de familias afectadas por no estar preparados o por generar caos.	Establecer convenios de colaboración locales, regionales e internacionales para atender emergencias químicas.
				Programa permanente de comunicación del riesgo y medidas preventivas dirigidas a la población con especial énfasis a las zonas expuestas.